

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



Bakalářská práce

**Monitoring herbicidní rezistence chundelky metlice
v okrese Třeboň**

Robin Minařík

© 2022/2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Robin Minařík

Pěstování rostlin

Název práce

Monitoring herbicidní rezistence chundelky metlice v okrese Třeboň

Název anglicky

Monitoring of herbicide resistance in *Apera spica-venti* in the Třeboň district

Cíle práce

Cílem práce je zjistit, zda se v daném území nalézají rezistentní populace chundelky metlice (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) vůči herbicidům ze skupiny inhibitorů enzymu acetolaktát syntáza (ALS), inhibitorů enzymu acetylkoenzym A karboxyláza (ACCáza) a inhibitorů fotosystému II (PSII). V případě potvrzení herbicidní rezistence vůči těmto skupinám bude dílčím cílem navrzení antirezistentní strategie v zasažených lokalitách.

Metodika

Z vytipovaných lokalit budou v létě roku 2022 provedeny sběry semen chundelky metlice. Odběry vzorků budou zaměřeny zejména na pole, na kterých chundelka metlice přežila herbicidní ošetření a je zde podezření na rezistenci. Následně budou v září roku 2022 založeny nádobové pokusy s těmito populacemi. Budou vyseta semena a v příslušné fázi plevelu budou aplikovány pomocí přesného laboratorního postřikovače herbicidy s různými mechanismy účinku. Měsíc po aplikaci bude pomocí procentní odhadové metody vyhodnocena průměrná účinnost jednotlivých přípravků a citlivost jednotlivých populací. V případě potvrzení rezistence budou pro jednotlivé lokality navrženy antirezistentní strategie.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

plevele, herbicidní rezistence, aplikace, průzkum, prevence

Doporučené zdroje informací

- Adamczewski K, Kierzek R, Matysiak K. 2009. Influence of long-term used herbicides on resistance development in *Apera spica-venti* L. to sulfonylureas. *Commun Agric Appl Biol Sci.*;74(2):491-6.
- Beckie HJ, Ashworth MB, and Flower KC. 2019. Herbicide resistance management: recent developments and trends. *Plants* 8:161
- Hamouzova K, Kosnarova P, Salava J, Soukup J, Hamouz P. 2014. Mechanisms of resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in populations of *Apera spica-venti* from Czech Republic. *Pest Management Science* 70(4): 541–548.
- Košnarová P, Hamouz P, Hamouzová K, Linn A, Sen MK, Mikulka J, Šuk J, Soukup J. 2021. *Apera spica-venti* in the Czech Republic develops resistance to three herbicide modes of action. *Weed Research* 61(5): 420-429
- Soukup J, Novakova K, Hamouz P, Namestek J. 2006. Ecology of silky bent grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.), its importance and control in the Czech Republic. *J. Plant Dis. Prot.*; 20:73–80.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FAPPZ

Vedoucí práce

Ing. Pavlína Košnarová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

Elektronicky schváleno dne 9. 1. 2023

prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2023

prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 02. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Monitoring herbicidní rezistence chundelky metlice v okrese Třeboň" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autoruvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Pavlíně Košnarové, Ph.D. za její čas, za odbornou přípravu a metodologickou pomoc při zakládání a vyhodnocení pokusu a při zpracování mé práce. Dále bych rád poděkoval rodině za trpělivost a podporu, bez které by pro mne nebylo možné tuto práci dokončit.

Monitoring herbicidní rezistence chundelky metlice v okrese Třeboň

Abstrakt

Chundelka metlice (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) patří mezi nejvýznamnější trávovité plevele a způsobuje ztráty především v pšenici ozimé a ozimém ječmeni. V současné době její regulaci komplikuje častý výskyt rezistentních populací zejména k inhibitorům enzymu acetolaktát syntáza (ALS). Práce byla provedena za účelem monitoringu herbicidní rezistence u plevelných populací chundelky metlice v okrese Třeboň na pozemcích, kde v minulosti docházelo k selhávání účinnosti herbicidů a bylo zde podezření na výskyt rezistence vůči často používaným účinným látkám herbicidů. Cílem této práce bylo kromě monitoringu výskytu herbicidní rezistence také popsat její míru a v případě jejího potvrzení navrhnout v zasažených lokalitách antirezistentní strategii.

V červenci roku 2022 bylo z porostů pšenice ozimé v okrese Třeboň odebráno celkem šest vzorků chundelky metlice, jejichž semena byla na podzim stejného roku vyseta do nádob. V požadované růstové fázi rostlin chundelky metlice byly aplikovány účinné látky vybraných herbicidů. Bylo vybráno celkem pět různých mechanismů účinku herbicidů. Konkrétně byly testovány herbicidy Corello, Axial Plus, Lentipur, Cougar Forte a Sumimax. Do pokusu byla také zahrnuta populace chundelky metlice (lokalita Dobrá Voda), která je k těmto vybraným herbicidům citlivá. Třicet dní po aplikaci herbicidů byly jednotlivé populace individuálně porovnány s tímto citlivým standardem za účelem stanovení účinnosti herbicidů a případného vyhodnocení míry herbicidní rezistence.

Z výsledku práce vyplývá, že všechny testované populace byly rezistentní k přípravku Corello, který patří mezi inhibitory ALS. U dvou populací se vyskytovali jedinci, kteří přežili aplikaci Lentipuru (inhibitor fotosystému II). Spolehlivou účinnost u všech populací vykazovaly přípravky Cougar Forte a Sumimax, které je tedy možné doporučit jako vhodné herbicidy pro antirezistentní strategii.

Klíčová slova: chundelka metlice; herbicidní rezistence; aplikace; průzkum

Monitoring of herbicide resistance in *Apera spica-venti* in the Třeboň district

Abstract

Loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) is belongs the most important grass weeds and causes losses mainly in winter wheat and winter barley. Currently, its regulation is complicated by the frequent occurrence of resistant populations, especially to inhibitors of the acetolactate synthase (ALS) enzyme. The work was carried out for the purpose of monitoring herbicide resistance in populations of loose silky-bent in the Třeboň district in the fields where herbicides had failed in the past and there was a suspicion of the occurrence of resistance to frequently used effective herbicide substances. In addition to monitoring the occurrence of herbicide resistance, the aim of this work was to describe the rate of herbicide resistance and, in case of its confirmation, to propose an anti-resistance strategy in the affected locations.

In July 2022, a total of six samples of loose silky-bent were collected from winter wheat fields in the Třeboň district, the seeds were sown in containers in the autumn of the same year. Active substances of selected herbicides were applied in the required growth stage of the weed plants. A total of five different herbicide mechanisms of action were tested. Specifically, Corello, Axial Plus, Lentipur, Cougar Forte and Sumimax herbicides were tested. The experiment also included a population of the loose silky-bent (Dobrá Voda locality), which is sensitive to these selected herbicides. Thirty days after herbicide application, populations of loose silky-bent were individually compared to this sensitive standard in order to determine the effectiveness of the herbicides and possibly evaluate the degree of herbicide resistance.

The result of the work shows that all tested populations were resistant to Corello, which belongs to the ALS inhibitors. In two populations there were individuals that survived the application of Lentipur (inhibitor of photosystem II). The preparations Cougar Forte and Sumimax showed reliable effectiveness in all populations, which can therefore be recommended as suitable herbicides for an anti-resistance strategy.

Keywords: loose silky-bent; herbicide resistance; application; survey

1 Obsah

2 Cíl práce.....	3
3 Úvod.....	4
4 Teoretická část.....	6
4.1 Chundelka metlice (<i>Apera spica-venti</i> (L.) Beauv.).....	6
4.1.1 Taxonomické zařazení.....	6
4.1.2 Botanická charakteristika.....	6
4.1.3 Biologické vlastnosti.....	7
4.1.4 Rozšíření a škodlivost.....	8
4.1.5 Možnosti regulace chundelky metlice.....	8
4.1.6 Rezistence chundelky metlice.....	10
4.2 Herbicidní rezistence.....	11
4.2.1 Křížová, vícenásobná herbicidní rezistence a tolerance.....	13
4.2.2 Historie vývoje herbicidní rezistence.....	13
4.2.3 Historie vývoje herbicidní rezistence u chundelky metlice.....	14
4.2.4 Aktuální situace ve světě.....	15
4.2.5 Aktuální situace v Asii.....	16
4.2.6 Aktuální situace v Austrálii.....	16
4.2.7 Aktuální situace v Jižní Americe.....	17
4.2.8 Aktuální situace v Severní Americe.....	18
4.2.9 Aktuální situace v Evropě.....	20
4.2.10 Aktuální situace v České republice.....	21
4.2.11 Důvody vzniku herbicidní rezistence.....	24
4.2.12 Prevence a boj s herbicidní rezistencí.....	25
4.2.13 Hlavní mechanismy herbicidní rezistence.....	26
4.3 Rezistence k významným skupinám herbicidů.....	27
4.3.1 Rezistence k inhibitorům ALS (acetolaktát-syntázy).....	27
4.3.2 Rezistence k inhibitorům ACCázy (acetylkoenzym A-karboxylázy).....	28
4.3.3 Rezistence k inhibitorům PSII (fotosystém II).....	29
5 Metodika.....	30
5.1 Sběr populací.....	30
5.2 Použité herbicidy.....	30
5.2.1 CORELLO.....	30
5.2.2 AXIAL PLUS.....	30
5.2.3 LENTIPUR.....	31
5.2.4 COUGAR FORTE.....	31
5.2.5 SUMIMAX.....	32

5.3	Založení nádobového pokusu	32
5.4	Aplikace herbicidů.....	33
6	Výsledky	34
6.1	1. Populace.....	34
6.2	2. Populace.....	35
6.3	3. Populace.....	36
6.4	4. Populace.....	38
6.5	5. Populace.....	39
6.6	6. Populace.....	40
6.7	Citlivá kontrola	41
6.8	Celkové zhodnocení testovaných populací.....	43
7	Diskuze.....	44
8	Závěr	47
9	Seznam použitých zdrojů	48
	Internetové zdroje	56

2 Cíl práce

Cílem práce bylo zjistit, zda se v okrese Třeboň nalézají rezistentní populace chundelky metlice (*Apera spica-venti*) vůči herbicidům ze skupiny inhibitorů acetolaktát syntázy (ALS), inhibitorů enzymu acetylkoenzym A karboxyláza (ACCáza) a inhibitorů fotosystému II (PSII). V případech, kde byla herbicidní rezistence potvrzena, bylo dílčím cílem navrhnout antirezistentní opatření a prevenci rozšíření rezistentních populací tohoto ekonomicky významného plevele.

3 Úvod

Ve všech ekonomicky vyspělých zemích po celém světě jsou herbicidy nejpoužívanějším způsobem regulace nežádoucích plevelů v kulturních plodinách. Využívají se ať již při intenzivním způsobu hospodaření, které je typické například v Evropě či většině východoasijských zemí, tak i v extenzivním, velkoplošném způsobu hospodaření. Celosvětově jsme svědky zjednodušování osevních postupů a zavádění minimalizace přípravy či bezorebných technologií, a to bez ohledu na region či intenzitu hospodaření. Kombinace uvedených faktorů prohlubuje závislost na používání herbicidů pro kontrolu nežádoucích plevelů a s tím roste i selekční tlak s tím spojené riziko vzniku herbicidních rezistencí (Powles a Yu, 2010).

Herbicidní rezistence je dědičná schopnost plevelů přežít dávky herbicidů, které by za normálních okolností vedly k efektivní regulaci plevelů. Klíčovým faktorem v tomto kontextu je to, že vznik herbicidní rezistence je evoluční proces při kterém se původní populace náchylná vůči konkrétnímu herbicidu vyvine na rezistentní. Tato změna neprobíhá v rámci jednotlivých rostlin nýbrž v rámci populace v níž se podíl přirozeně se vyskytujících rezistentních jedinců v čase narůstá (Moss, 2002). V současnosti je ve světě popsáno 518 případů rezistence u 154 dvouděložných a 113 jednoděložných plevelů, proti 165 různým herbicidům. Nejvíce rezistentních plevelů je popsáno u herbicidů ze skupiny inhibitorů enzymu acetolaktátsyntázy (171) a inhibitorů fotosystému II (87) (Heap, 2023).

Současný způsob hospodaření na orné půdě vyhovuje většině trávovitých plevelů. Jejich zastoupení a význam na našich polích v posledních letech výrazně stoupá. Populační dynamika chundelky metlice, psárky polní a sveřepu jalového je v posledních letech podporována zvyšováním podílu ozimých plodin v pěstebních systémech spolu s rostoucím podílem ploch s omezeným zpracováním půdy nebo přímým setím do nezpracované půdy. Zmiňované plevelné druhy vzcházejí především na podzim a jejich růst a životní cyklus je přizpůsoben cyklu ozimých obilnin, zejména ozimé pšenici. Dokáží během jedné vegetace vyprodukovat ohromné množství generativních diaspor (několik tisíc), které se vyznačují vysokou vzcházivostí i při nízkých teplotách od 2 °C. Tyto jejich biologické vlastnosti patří také mezi hlavní faktory, které ovlivňují vznik herbicidní rezistence (Hamouzová a kol., 2021).

Vzhledem k četnosti výskytu představují v České republice na orné půdě v současnosti největší problém rezistentní populace chundelky metlice (*Apera spica-venti*) v obilninách. Od roku 2005, kdy byl u nás potvrzen první případ rezistence chundelky metlice vůči

chlorsulfuronu, byla na území ČR potvrzena u více než 70% populací chundelky metlice snížená účinnost herbicidu a rezistence k různým účinným látkám ze skupiny inhibitorů enzymu acetolaktát syntázy (ALS). Poměrně běžnou se stává u chundelky metlice křížová rezistence (rezistence k více účinným látkám ze stejné chemické skupiny či se stejným mechanismem účinku) k sulfonylmočovinám (chlorsulfuronu, iodosulfuronu, mesosulfuronu, sulfosulfuronu), triazolovým pirimidinům (penoxsulamu, pyroxsulamu) a sulfonylamino-carbonyl-triazolinonům (propoxycarbazonu). Nové komplikace v ochraně proti chundelce metlici přicházejí s výskytem vícenásobné rezistence. Existuje již řada lokalit s výskytem chundelky metlice, které jsou rezistentní vůči dvěma či třem mechanismům účinku herbicidů, a to konkrétně vůči inhibitorům ALS, inhibitorům acetyl-koenzym A karboxylázy (ACC) a inhibitorům PSII (Košnarová a kol., 2021).

4 Teoretická část

4.1 Chundelka metlice (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.)

4.1.1 Taxonomické zařazení

Doména:	eukarya
Říše:	rostliny (<i>Plantae</i>)
Podříše:	vyšší rostliny (<i>Embryophyta</i>)
Kemen:	cévnaté rostliny (<i>Tracheophyta</i>)
Podkmen:	semenné rostliny (<i>Spermatophyta</i>)
Oddělení:	krytosemenné rostliny (<i>Magnoliophyta</i>)
Třída:	jednoděložné (<i>Liliopsida</i>)
Řád:	lipnicotvaře (<i>Poales</i>)
Čeleď:	lipnicovité (<i>Poaceae</i>)
Rod:	chundelka (<i>Apera</i>)
Druh:	chundelka metlice (<i>Apera spica-venti</i>)

4.1.2 Botanická charakteristika

Český název: Chundelka metlice

Slovenský název: Metlička obyčajná

Anglický název: Loose silky bent grass, případně Wind bent grass

Německý název: Gemeiner Windhalm

Odborný název: *Apera spica-venti* (L.) Beauv.

Název dle Evropské společnosti výzkumu plevelů (EWRS): APESV

4.1.2.1 List

Listy jsou zelené až nafialovělé s pochvou širokou 2–5 mm, plochou, lysou, drsnou s jazýčkem dlouhým až 6 mm (Kneifelová a Mikulka, 2003).

První list velmi úzký, niťovitý, nejvýše 30mm dlouhý, asi 0,5mm široký po celé délce. Vpředu je ostře zašpičatělý, ve spodní části žlábkovitý, lysý. Střední žilka a dvě postranní jsou zřetelné. Jazýček je zřetelný rozdřípený. Pochva prvního listu asi 5mm dlouhá, lysá. Další listy jsou obdobné delší často i širší a pravotočivé (Jursík, 2011).

Listy mezomorfního charakteru jsou na stéble uspořádány střídavě. Jsou schopné prezimovat což zlepšuje konkurenceschopnost v brzkých jarních měsících.

4.1.2.2 Stonek

Chundelka patří mezi volně trsnaté trávy se svazčitými kořeny. Stébla jsou přímá až kolénkatě vystoupavá, hladká, lesklá, chudě olistěná, až 150 cm vysoká. Pochva listů je charakteristická až 6 mm dlouhým, dřipatým jazýčkem bez oušek (Štrobach a kol., 2020).

I přes to že se jedná o volně trsnatý druh se chundelka nerozmnožuje vegetativně pomocí odnoží. Kompenzuje to však vysokou produkcí semen.

4.1.2.3 Kořeny

Jde o volně rostoucí travu se svazčitými kořeny, které však rostlinu v půdě příliš silně neukotvují (Jursík, 2011).

4.1.2.4 Pohlavní orgány

Květenstvím chundelky metlice je jehlancovitá, bohatě větvená, rozkladitá lata. Chundelka tvoří klásky které jsou jednokvěté, lesklé a nafialovělé. Plevy nemají osiny, plucha je osinatá, ale pluška je menší a bezosinná. Kopinatá obilka je 2 až 3 mm dlouhá a ostře zašpičatělá. Obilky jsou velice lehké s HTS 1,9 g a snadno se uvolňují větrem, což umožňuje šíření semen na velké vzdálenosti (Štrobach a kol., 2020).

Chundelka metlice se rozmnožuje pouze generativně. Jedna rostlina dokáže vyprodukovat několik tisíc obilek (až 16000), běžně však rostliny produkují cca 600- 850 obilek v ječmeni ozimém a 1300 – 5500 v pšenici ozimé (Melander, 2008).

4.1.3 Biologické vlastnosti

Chundelka metlice patří do skupiny obtížných ozimých plevelů. Je známá především tím, že zapleveluje hlavně ozimé obilniny, ozimou řepku, víceleté pícniny a zeleninu jak v nížinných oblastech tak i v podhorských a horských oblastech. V současnosti se stává čím dál častěji, že chundelka metlice zapleveluje i porosty jařin (Štrobach a kol., 2020).

Oproti obilovinám má chundelka metlice v počátečních fázích růstu pomalejší vývoj. Před zimou většinou dosáhne fáze dvou listů až počátku odnožování, pokud je zima mírná pokračuje nadále v růstu i v průběhu zimních měsíců, jinak přezimuje v růstové fázi které dosáhla před zimou. Plného odnožování zpravidla dosahuje v průběhu dubna a od začátku května již zpravidla sloupkuje (Soukup a kol., 2005).

Snadná adaptace a rozmnožování tohoto druhu lze přičíst skutečnosti, že se jedná o jednoletou travu, jejíž životní cyklus se velmi podobá životnímu cyklu obilnin. Tento plevel také produkuje velké množství světlých semen, snadno se rozptýlí větrem na velké vzdálenosti

a snadno se uvolňuje zemědělskými stroji. Semena jsou schopna se šířit i vodou a není výjimkou ani příměs v osivech při špatném čištění. Tato semena jsou produkována před červencovou sklizní, mají krátkou dobu posklizňového klidu a mohou klíčit za různých teplotních a světelných podmínek (Mikulka a kol., 2005), (Warwick a kol., 1985).

4.1.4 Rozšíření a škodlivost

Chundelka metlice má původ Evropě a severní Asii. Hojně se vyskytuje v celé střední Evropě včetně České republiky. Vyskytuje se jak v nížinách tak i v podhorských a horských oblastech na vlhkých, vysychavých, písčitých, štěrkovitých a na živiny bohatých stanovištích. Jejím stanovištěm se stávají lokality podél cest, rumiště, meze, úhory a orná půda. Její konkurenční schopnost je velmi silná a při vyšším výskytu na pozemku dokáže potlačit pěstovanou (Mikulka a kol., 2005).

I přes to, že v České republice patří chundelka metlice k významným plevelům, její celosvětový dopad na zemědělství je pouze okrajový. Původní lokalitou působnosti je kontinentální Evropa a zasahuje až do střední Sibíře. Zavlečena však byla jako nepůvodní druh do severní Afriky a některých částí Severní Ameriky. V nových lokalitách se překvapivě nejedná o významný plevelný druh i přes to, že se jedná o téměř kosmopolitní (Jursík, 2011).

V současné době zapleveluje chundelka metlice všechny druhy půd v celé ČR a regulace jejího výskytu by nebyla možná bez použití účinných herbicidů. Důkazem často bývají zaplevelená okraje polí a místa s překážkami kam postřikovač s herbicidem nedosáhne (Kohout a Hradecká, 2008).

Při vzejití časně zjara zapleveluje chundelka i řídké porosty ozimů a brzo seté jařiny, což je způsobeno změnami v cyklech vzcházení, které se (pravděpodobně z důvodů převažující podzimní ochrany) posunují u některých biotopů do jarního období. Na rozdíl od psárky polní, která je rozšířena v západní části Evropy, nemůže chundelka metlice z důvodu vyhraněného životního cyklu s převahou vzcházení na podzim zaplevelovat ve škodlivější míře jarní plodiny, a proto má cílená ochrana proti ní praktický význam pouze v ozimech (Jursík a kol., 2007).

4.1.5 Možnosti regulace chundelky metlice

Regulace chundelky metlice je poměrně obtížná a pro zdárný výsledek je nutné do ochrany plodiny zahrnout celý komplex opatření. V jařinách se pro regulaci doporučuje hlavně kvalitní předset'ová příprava půdy cílená proti již vzešlým rostlinkám, které po takovém zákroku špatně regenerují. Jařiny ve sledu několik let po sobě v kombinaci s okopaninami lze také využít jako alternativu pro regulaci chundelky metlice, stejně jako pěstování víceletých pícnin na orné

půdě. Na chundelku metlice existuje poměrně široká škála herbicidních přípravků s různým mechanismem působení. Jelikož u chundelky metlice byly popsány rezistentní populace vůči inhibitorům ALS, je nutné při regulaci obměňovat přípravky, které mají různou účinnou látku. Regulace je nutná už na podzim, v jarních měsících již pouze dočišťujeme podle potřeby (Štrobach a kol., 2020).

4.1.5.1 Chemická regulace chundelky metlice

Široká nabídka herbicidů proti chundelce metlici umožňuje pěstitelům zvolit nejvhodnější aplikační termín a přípravek s ohledem na další plevely, které je vedle chundelky metlice potřeba zasáhnout. Jursík (2011) uvádí, že obecně platí snaha o provedení regulace zaplevelení chundelkou co nejdříve, nejlépe na podzim, v co nejnižší růstové fázi chundelky, kdy je k herbicidům nejcitlivější. U porostů zakládaných brzy (září) je nejvhodnější časné postemergentní ošetření porostů krátce po vzejití plevelů. U chundelky metlice nemusí být vzešlí jedinci ještě ani zaznamenáni. Půdní vlhkost je v době aplikace již zpravidla dostatečná, což významným způsobem podporuje účinnost. V tomto termínu lze proti chundelce použít široké spektrum herbicidů, které je však vhodné v několikaletých intervalech obměňovat, aby nedošlo ke rezistenci.

Pokud se nejedná o rezistentní populace, je tento druh k mnoha herbicidům citlivý a jeho regulace je snadná. K dispozici máme široký výběr přípravků s různými mechanismy účinku. Vysokou a stabilní účinnost má na podzim např. účinná látka flufenacet (Battle, Cadou, Cougar Forte, Fence, Defi Evo), která inhibuje dělení buněk v kořenových a růstových meristemických pletivech. Z půdních herbicidů můžeme dále použít prosulfucarb (Boxer, Defi Evo, Roxy), účinnou látku, která blokuje prodlužování řetězců mastných kyselin a je u ní nízké riziko vzniku rezistence či pendimethalin (Malibu, Stomp, Trinity) aplikovaný preemergentně. Za příznivých povětrnostních podmínek nebo v kombinaci s výše uvedenými herbicidy vykazují dobrou účinnost také flumioxazin (Sumimax), beflubutamid (Beflex) a diflufenican (Sempra, Delfin). Všechny tyto zmiňované účinné látky lze spolehlivě použít i tam, kde byly potvrzeny výskyty rezistence k inhibitorům ALS, ACCázy či inhibitorům fotosystému II (PSII). Jejich nevýhodou je, že jsou určeny pro použití v podzimním období a je třeba je aplikovat v raných růstových fázích chundelky. Později na jaře je k regulaci chundelky možné použít ALS inhibitory iodosulfuron (Husar), mesosulfuron (Atlantis), penoxsulam (Bizon), sulfosulfuron (Monitor), či pyroxulam (Corello, Hurricane) nebo inhibitory ACCasy, např. fenoxaprop (Puma Extra, Foxtrot) či pinoxaden (Axial Plus), které vykazují dobrou účinnost až do počátku sloupkování chundelky a rezistence chundelky k nim zatím není tak

běžná. V porostech, kde ještě chundelka nezačala odnožovat případně na začátku odnožování může být brzy zjara účinný také chlorotoluron (Lentipur, Rally) ze skupiny inhibitorů PSII. Bohužel i k tomuto mechanismu účinku herbicidů si již chundelka vytvořila rezistenci, i když počet případů opět není tak hojný (Košnarová, 2022).

4.1.5.2 Mechanická regulace chundelky metlice

Obilky chundelky metlice klíčí nejlépe ve vrchní vrstvě ornice a přímo na povrchu. Z toho hlediska má co se týče mechanické regulace největší význam zpravidla orba. Každoroční hluboká orba zaklápí semena plevelů do hlubších vrstev ornice, ze kterých nejsou schopna vzcházet a dochází k jejich postupnému odumírání (Mikulka, 2014), (Hamouzová a kol., 2021).

Semena mnoha jednoletých druhů plevelů vyžadují světelný stimul ke spuštění klíčení. V důsledku toho se noční kultivace půdy nebo zakrytí orby pomocí černého plastu nebo látky nepropouštějící světlo pravidelně zkoumaly jako prostředek ke snížení vzcházení plevele (Bartley a Frankland, 1982).

Chundelka metlice je účinně potlačována pravidelným střídáním plodin, včasným a kvalitním setím, hnojením plodin, u jarních obilovin kvalitní přípravou půdy, u ozimů kvalitní agrotechnikou, zvláště vláčením na jaře (Kazda a kol., 2010).

Mulčování zvyšuje fyzickou bariéru, kterou musí vyklíčená semena překonat, a je proto dalším prostředkem k dosažení omezeného usazování plevelných rostlin. U mulčů sestávajících z rozkládajícího se čerstvého rostlinného materiálu uvolňování alelochemikálií posiluje inhibiční účinky na klíčení semen plevele a raný růst (Weston, 1996), (Kruidhof a kol., 2008).

4.1.5.3 Biologická regulace chundelky metlice

Biologické metody regulace zaplevelení jsou založeny na principu negativních interakcí mezi rostlinami a jejich antagonisty. Cílené využití tohoto druhu regulace je však v praktických podmínkách velmi ojedinělé (Mikulka a kol., 2005).

Proti chundelce metlici se biologická ochrana v Česku prakticky nepoužívá.

4.1.6 Rezistence chundelky metlice

Za posledních dvacet let byl pozorován velký nárůst rezistentních populací chundelky metlice., Dnes jsou již běžnou záležitostí a nejedná se již o žádný ojedinělý jev. Více než 70% testovaných populací, které byly odebírány z pozemků, kde se projevila snížená účinnost herbicidního přípravku, vykazovalo rezistenci k různým účinným látkám ze skupiny inhibitorů enzymu acetolaktát syntázy (ALS) (Košnarová a kol., 2018).

Vyjímečné nejsou u chundelky metlice ale ani případy křížové rezistence (rezistence působící proti více látkám ze stejné chemické a, nebo se stejným mechanismem účinku) k sulfonylmočovinám (chlorsulfuronu, iodosulfuronu, mesosulfuronu, sulfosulfuronu), triazolovým pirimidinům (penoxsulamu, pyroxsulamu) a sulfonylamino-carbonyl-triazolinonům (propoxycarbazonu). Situaci v některých podnicích komplikuje fakt, že si chundelka vytváří rezistenci i k dalším herbicidním skupinám s jiným mechanismem působení a vzniká tzv. vícenásobná rezistence. Je obecně rezistentní vůči inhibitorům ALS, ale u tohoto druhu byly také nalezeny i mnohonásobné rezistence, nejvíce případů vícenásobné rezistence bylo detekováno k inhibitorům ALS a zároveň k inhibitorům fotosystému II (PSII) ale přibývají i případy, kdy je chundelka rezistentní k inhibitorům ALS a současně k inhibitorům enzymu acetyl-koenzym A karboxylázy (ACCáza) (Košnarová a kol., 2018), (Fernandez-Moreno a kol., 2015).

4.2 Herbicidní rezistence

Herbicidní rezistence nevzniká najednou, nýbrž vzniká postupně. Počátek selekčního procesu začíná prvním výskytem rezistentních jedinců, který je z počátku nízký, není pozorovatelný, a z hospodářského hlediska nevýznamný, jedná se většinou pouze o několik málo náhodných jedinců. Při opakovaném a dlouhodobém vystavení selekčnímu tlaku herbicidu v kombinaci s dalšími rizikovými faktory, které z populace vytlačí citlivé populace, se však taková populace postupně stává na stanovišti dominantní. Rezistentní genotyp v populaci převládne, protože má oproti citlivým selekční výhodu, nezahyne a reprodukuje se (Powles a Yu, 2010). Živé organismy jsou schopny přizpůsobovat se měnícím se podmínkám prostředí. Tak jako se zemědělec snaží chránit úrodu před škodlivými činiteli, tak se i škodlivé organismy na obdělávaných pozemcích snaží přizpůsobit a vyhnout se nástrahám zemědělství (Prokop, 2009).

Z pohledu plevelů jsou rizikové zvláště druhy, které tvoří početné populace, jsou cizosprašné, případně mají intenzivní mechanismy metabolizace.

Pokud se po aplikaci herbicidu nedostaví očekávaný účinek, je zapotřebí analyzovat příčiny vzniku tohoto selhání. Možnými důvody pro selhání je např. nevhodné naplánování termínu aplikace, chyby v dávkování přípravku nebo povětrnostní vlivy – dešťové srážky po aplikaci, půdní podmínky (vlhkost, adsorpce, kvalita setového lůžka) či nízká teplota ovlivňující příjem některých účinných látek. Samotné kolísání účinku však není neobvyklým jevem. Správný účinek herbicidu je ovlivněn velkým množstvím faktorů a z toho důvodu je často

velmi obtížné učit příčinu nedostatečného působení a zda za nedostatečným působením přípravku stojí jeden či více faktorů. Při opakovaném selhání přípravků se stejným mechanismem účinku a opakovanému přežívání plevelu proti kterému zákrok míříme, je velmi pravděpodobné, že se na pozemku vyskytuje herbicidní rezistence (Košnarová a kol. 2018).

Úroveň a rychlost evoluce herbicidní rezistence je závislá na typu rozmnožování populace, dědičnosti rezistentního znaku, schopnosti křížit se a možnosti přenosu genů. Důležitou roli v uplatnění rezistentního biotypu hraje to, zda bude mít dostatečné fitness. Tradičně je fitness definována jako počet životaschopných a plodných potomků přispívajících k další generaci. U rostlin to znamená, že zdatnost lze měřit hlavně hodnocením množství a kvality semen (Vila-Aiub a kol., 2009). Jako fitness se však dá označit celý komplex vlastností, které umožňují, aby potomstvo rezistentního jedince přeživalo, dokázalo se konkurenčně uplatnit a množilo se i v konkurenci původních citlivých jedinců (Košnarová a kol., 2018). (Menchari a kol., 2007) definuje konkrétně u zemědělských plevelů byla fitness schopnost přežití a reprodukční úspěch v polních podmínkách, což je přímo spojeno s konkurenční schopností.

Jednoleté i vytrvalé trávovité plevely mají vysokou schopnost se přizpůsobovat podmínkám prostředí a jsou velmi konkurenceschopné. Studie od Hamouzové a kol., (2013) potvrdila, že plevelné trávy často využívají několik mechanismů rezistence vůči herbicidům inhibujícím ALS. Současný způsob hospodaření na orné půdě jim vyhovuje, s vysokým zastoupením ozimých obilnin a uplatňováním minimalizace při zpracování půdy se zastoupení trávovitých plevelů stále zvyšuje. S tím v posledních stoupá i jejich význam na českých polích. Populační dynamika chundelky, psárky polní a sveřepu jalového je v posledních letech podporována zvyšováním podílu ozimých plodin v osevních postupech, dále roste podíl ploch s omezeným zpracováním půdy nebo přímým setím do nezpracované půdy (Babineau a kol., 2017). Vznik a šíření rezistentních populací je rychlejší v monokulturách a vytrvalých kulturách s dlouhodobým používáním herbicidů (Mikulka a Slavíková, 2008). Byly hlášeny dobře zdokumentované případy rezistence vůči inhibitoru ALS v cílovém místě; naopak se ukázalo, že více než 75 % rostlin odolných vůči *Alopecurus myosuroides* nemělo genetické mutace, ale spíše zvýšený metabolismus herbicidů jako mechanismus rezistence. Plevely neustále vyvíjejí nové mechanismy rezistence, protože jsou konfrontovány s novými technikami regulace, což představuje nový typ stresu na populaci. Je proto důležité, aby se zachovaly techniky, které jsou aktuálně účinné na konkrétní plevel, změnit je v rámci předem naplánované strategie managementu (Integrated Weed Management, 2016).

4.2.1 Křížová, vícenásobná herbicidní rezistence a tolerance

(Mikulka a Slavíková, 2008) upozorňují, že někdy je možné se setkat s termínem tolerance rostlin, v tomto případě se na rozdíl od rezistence jedná se o přirozenou odolnost vůči herbicidu. Není neobvyklé, že některé plevelné druhy jsou přirozeně tolerantní proti několika účinným látkám. Každý druh plevelu je různě citlivý na různé spektrum herbicidů a dávka účinkující proti jednomu druhu plevelu nemusí být stejně účinná proti plevelu jinému. Tento termín nelze zaměňovat s termínem rezistence.

Vícenásobná rezistence nastává, když je plevel nebo populace rezistentní vůči více než jednomu způsobu působení ve stejné rostlině nebo populaci. Objevení se mnohočetné rezistence v populaci plevelů komplikuje její řízení. Příklad lze nalézt ve Spojeném království u psárky polní (*Alopecurus myosuroides*). Podíl vzorků *Alopecurus myosuroides* rezistentních vůči třem herbicidům představujícím různé způsoby účinku, samostatně i v kombinaci, je téměř polovina odebraných populací. To vedlo k velkému důrazu na další preemergentní ošetření s alternativními způsoby působení, protože mnoho herbicidů ACCase již nefunguje a účinnost herbicidů ALS klesá (Hull a kol., 2014).

Zvýšení odolnosti vůči více přípravků s různým způsobem působení zkomplikovalo péči o plevel v jiných druzích a zeměpisných oblastech. Ohrožuje budoucnost velkoplošného zemědělství (Delye a kol., 2013).

4.2.2 Historie vývoje herbicidní rezistence

(Štrobach a Mikulka 2020) uvádějí, že se první látky na ochranu rostlin začaly poprvé používat po druhé světové válce. Nejprve se jednalo pouze o sloučeniny anorganických látek (např. kyselina sírová, síran měďnatý, nebo jemně mletý kainit), později ve 40. letech minulého století došlo k využívání látek syntetických. Vysoká účinnost těchto látek zcela změnila zemědělské hospodaření a pěstování plodin se podřídilo používání těchto látek. Začaly se uplatňovat systémy, ve kterých se omezilo střídání plodin ve kterých pěstované plodiny se začaly pěstovat nahusto. Citlivé plevely, které se doposud hojně na polích vyskytovaly jako např. hořčice rolní (*Sinapis arvensis*), ředkev ohnice (*Raphanus raphanistrum*), peníze rolní (*Thlaspi arvense*) nebo heřmánek pravý (*Matricaria chamomilla*) působením herbicidů velmi rychle vymizeli. To uvolnilo prostor pro více agresivní plevely, jako jsou např. oves hluchý (*Avena fatua*), chundelka metlice (*Apera spica-venti*) nebo psárka polní (*Alopecurus myosuroides*) a celá skupina dvouděložných plevelů, jako např. heřmánkovec nevonný (*Tripleurospermum inodorum*), rozrazil perský (*Veronica persica*) hluchavky (*Lamium amplexicaule* a *L. purpureum*), violka rolní (*Viola arvensis*) a svízel přítula (*Galium aparine*),

kteří do té doby žili na polích v ústraní se nyní stávají významnými pleveli a potýkáme se s nimi dodnes.

Krátce po začátku uvedení herbicidních látek do provozu se objevil první záznam o herbicidní rezistenci, který pochází už z roku 1957 o rezistentní populaci mrkve obecné (*Daucus carota*) proti auxinům. První potvrzené zprávy jsou však zaznamenávány až v průběhu 60. let 20. století vůči triazinům (Prokop, 2009).

Ve Spojených státech amerických byl nalezen první rezistentní plevel, kterým byl starček obecný (*Senecio vulgaris*). V průběhu 70. a 80. let byly postupem času popsány další druhy a to především v Severní Americe a Evropě. Dále byly rezistentní biotypy nalezeny v Číně, Japonsku, Jižní Koreji atd. (Kazda a kol., 2010).

Kazda a kol. (2010) dále uvádějí že nadále stoupá význam rezistence vůči dalším skupinám herbicidů. Například v Austrálii byla již v roce 1997 prokázána rezistence vůči glyphosatu u jílku tuhého (*Lolium rigidum*). Dále byl zjištěný výskyt rezistentního jitrocelu kopinatého (*Plantago lanceolata*), který byl v roce 2003 v Africe testován vůči různým dávkám glyphosatu: 0, 2, 4, 6, 8, 10 l/ha. Rezistentní rostliny nebyly poškozeny ani nejvyšší dávkou herbicidu.

4.2.3 Historie vývoje herbicidní rezistence u chundelky metlice

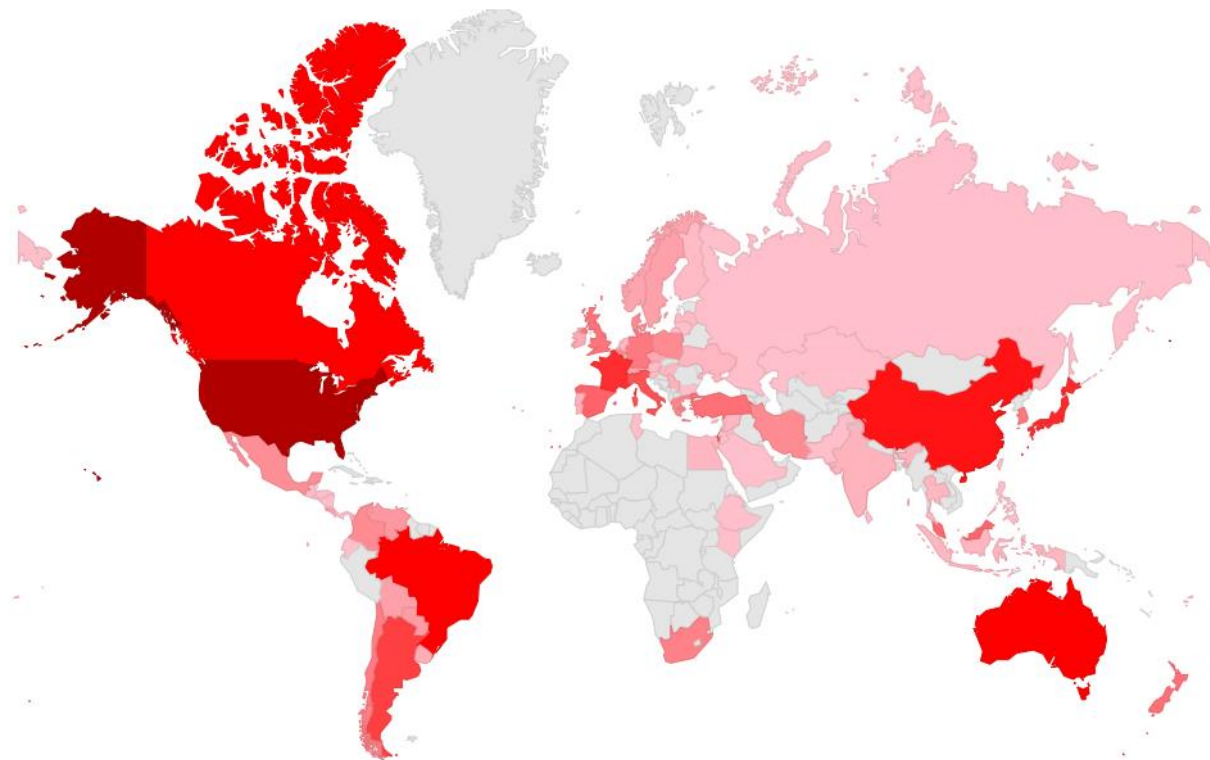
První případy rezistence chundelky metlice vůči isoproturonu byly identifikovány již v roce 1994 ve Švýcarsku a následně v roce 1997 v Německu (Nováková a kol., 2007). V Čechách se první rezistentní populace chundelky metlice pocházející z jižních a středních Čech byly exaktními metodami potvrzeny již v roce 2005 (Nováková a kol., 2006), (Soukup a kol., 2006). V Německu již byly popsány případy rezistence vůči inhibitorům acetylkoenzym A karboxylázy (ACCázy) a v Polsku dokonce vícenásobná rezistence současně k inhibitorům ACCázy i ALS inhibitorům (Adamczewski a Matysiak, 2012).

Chundelka metlice patří mezi původním plevelům našich polí. Ještě v polovině minulého století zaplevelovala především lehčí a sušší půdy. Další specifickou vlastností byl výskyt pouze v ozimých obilovinách, ozimé řepce, na úhorech eventuálně v první seči víceletých píceň. V poslední době se nám však s pomocí herbicidů na polích dařilo potlačit většinu citlivých plevelů a druhy jako chundelka metlice zaujali jejich místo. Chundelka metlice se rozšířila na téměř všechny druhy půd a začíná se čím dál častěji vyskytovat i v jařinách. Populační dynamika chundelky je dále v posledních letech podporována zvyšováním podílu ozimých plodin v pěstebních systémech spolu s rostoucím podílem ploch s omezeným

zpracováním půdy nebo přímým setím do nezpracované půdy (Melander, 2008), (Kohout a Hradecká 2008).

4.2.4 Aktuální situace ve světě

Přibližně do 90. let minulého století se problematika herbicidní rezistence týkala pouze rozvinutých zemí ve kterých se hojně používaly herbicidní přípravky v konvenčním zemědělství. Během posledních dvou desetiletích však dochází k čím dál tím výraznějším změnám ve způsobu hospodaření směrem k výrazné intenzifikaci v rozvojových zemích, což se následně promítlo i do výskytu rezistentních plevelných druhů. V současnosti se s rezistentními druhy potýká čím dál tím víc zemí, mezi nimi také v Jihoafrická republika, Čína, Brazílie a další státy (Heap, 2023).



Obr. 1: Počet případů herbicidní rezistence z globálního hlediska. Zdroj: Heap (2023) www.weedscience.org

Heap., 2023 uvádí, že nejvíce popsanych případů herbicidní rezistence bylo zjištěno v USA (131), Austrálii (89), Kanadě (54), Brazílii (47), Číně (40) a Francii (34) (obr. 1). Pro Severní Ameriku jsou nejzávažnějšími rezistentními plevelnými druhy laskavec Palmerův (*Amaranthus palmeri*) a laskavec tamaryškový (*Amaranthus tuberculatus*). V některých státech USA byly u těchto druhů detekovány mnohonásobné rezistence. V Kansasu byla zjištěna rezistence laskavce Palmerova dokonce již k pěti různým mechanismům herbicidních účinků. Laskavce mají podobně jako lipnicovité vzhledem k vysoké reprodukční schopnosti a počtu

vysokému počtu genetických kombinací velký potenciál ke vzniku a rychlému nárůstu rezistentních populací. Dlouhá životnost semen navíc téměř znemožňuje regulaci těchto populací vzhledem k vysokému zaplnění semenných bank v zemi. Mezi další problematické dvouděložné plevele s rezistencí zejména k ALS a PSII inhibitorům v těchto oblastech dále patří bytel metlatý (*Kochia scoparia*) a turanka kanadská (*Coryza canadiensis*), z jednoděložných pak činí potíže hlavně ježatky (*Echinochloa spp.*), béry (*Stellaria spp.*) a jílek vytrvalý (*Lolium perenne*). Překvapivě chundelka metlice (*Apera spica-venti*), která je velice problematickým druhem v Evropě není ve zbytku světa příliš problematickým druhem.

4.2.5 Aktuální situace v Asii

Zemědělství v Asii je velmi rozmanité, pokud jde o pěstované plodiny a klimatické zóny v celém regionu. V Asii je téměř 500 milionů farmářů s průměrnou velikostí farmy < 1,5 ha. Zavádění nových zemědělských technologií mezi malými zemědělci probíhá pomalu a technologicky související problémy, jako jsou herbicidní rezistence se také vyvíjejí pomaleji. Naproti tomu v některých oblastech, jako jsou komerční plantáže palmového oleje v Indonésii a státní zařízení v Číně, mohou být farmy velké a technologicky vyspělé. V Asii je HR méně znepokojující než rezistence vůči insekticidům a fungicidům (Peterson a kol., 2018).

V Asii se rezistentní druhy plevelů škodící především v rýži stávají rok od roku výraznějším faktorem. V Číně byla rezistence vůči ALS poprvé zdokumentována u *Echinochloa crus-galli* v roce 2000. Od té doby se vyvinula herbicidní rezistence vůči inhibitorům ALS i u dalších významných rýžových plevelů jako he *Monochoria korsakowii*, *Sagittaria montevidensis* a *Monochoria vaginalis* (Liu D, 2016)

V roce 2013 byla ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli*) shledána rezistentní vůči penoxsulamu, nejrozšířenějšímu herbicidu v Číně. Penoxsulam je jedním z nejdůležitějších herbicidů používaných v Číně od roku 2008 a je vynikajícím nástrojem pro likvidaci plevelů v rýži. Nedávné zprávy o křížové a vícenásobné rezistentní ježatce kuří noze (*E. crus-galli*) však vyvolaly obavy ohledně udržitelných možností regulace plevelů v rýži (Yang a kol., 2013).

4.2.6 Aktuální situace v Austrálii

V první dekádě 21. století vedla Austrálie ve světě v počtu případů HR, přičemž vysoké frekvence multirezistentních populací se vyvíjely ve velkém měřítku ve všech oblastech pěstování. V předchozím desetiletí došlo australskými producenty k velkoobchodnímu přijetí vysoce produktivních konzervačních pěstebních systémů založených na minimalizaci zpracování půdy a zadržování strniště (Peterson a kol., 2018). Přijetí tohoto produkčního

systému bylo usnadněno vysoce účinnými herbicidy, které se následně staly hlavním prostředkem při regulaci plevelů. Ochranné zemědělství dramaticky zvýšilo produktivitu a udržitelnost australského pěstování plodin. Důsledkem je však rozšířený vývoj herbicidní resistance. Přítomnost geneticky rozmanitých, dobře adaptovaných populací jílku tuhého (*L. Rigidum*) vedla k evoluci multirezistentních populací ve velkém měřítku. Ačkoli se populace herbicidně rezistentních plevelů vyvinuly v mnoha částech světa, nikde nebyl vývoj mnohonásobné resistance rozsáhlejší než v australském regionu produkujícím obilí. Ačkoli závislost na herbicidech při kontrole druhů plevelů náchylných k rezistenci není v Austrálii jedinečná, klíčový rozdíl je v tom, že jílek tuý (*L. Rigidum*) se adaptoval v celém produkčním regionu. (Llewellyn a kol., 2012).

Nedávné výsledky národního průzkumu z roku 2017 mezi pěstiteli odhadují, že herbicidně rezistentní plevele stojí pěstitelům dalších 187 milionů australských dolarů ročně jen v dodatečných nákladech na herbicidy. Tyto náklady jsou spojeny s používáním alternativních herbicidů a herbicidních směsí a také s vyššími aplikačními dávkami (Llewellyn a kol., 2017).

4.2.7 Aktuální situace v Jižní Americe

Jižní Amerika představuje ~ 20–25 % obdělávané plochy na světě, s klíčovou rolí v produkci a celosvětovém obchodu. Dominantní z hlediska osázené plochy jsou řádkové plodiny jako sója (*Glycine max*), kukuřice a bavlna (Peterson a kol., 2018). Z pohledu farmářů je sója hlavní plodinou, která řídí rozhodování v každém regionu, a to může omezit střídání plodin. Velikost farem se velmi liší, ale obecně farmy > 1000 ha představují téměř 40–50 % plochy s rostlinnou výrobou (US Department of Agriculture 2017). Naproti tomu v některých zemích je naopak velký počet drobných zemědělců s podniky menšími než 50 ha (Food and Agriculture Organization, 2017).

Bezorebné hospodaření využívá ~ 90 % jihoamerických pěstitelů a glyfosát je klíčovou součástí tohoto systému. Plodiny tolerantní ke glyfosátu představují téměř 96 % celkové plochy sóji v Jižní Americe (Derpsch, 2008). Tato technologie se v posledních 20 letech úspěšně používá v Argentině, Brazílii, Paraguayi, Bolívii a Uruguayi. Použití glyfosátu bez střídání herbicidů nebo směsí však vedlo k selekci tolerantních druhů plevelů prostřednictvím přesunů plevelů a evoluci populací plevelů odolných vůči glyfosátu v hlavních zemědělských oblastech (Vila-Aiub a kol., 2008).

V Jižní Americe je zdokumentováno 126 případů resistance na plevel: 49 v Brazílii, 25 v Argentině, 19 v Chile, 8 v Bolívii, 10 ve Venezuele, 6 v Kolumbii, 5 v Uruguayi, 3 v Paraguayi a 1 v Ekvádoru. Přibližně 70 % hlášených případů je v hlavních zemích produkujících sójové

boby (Brazílie, Argentina, Bolívie, Uruguay a Paraguay) a více než polovina je v sójových bobech. Četnost nových případů rezistence plevelu se v Jižní Americe zvyšuje a šíří, což mění trh s herbicidy (Franco a kol., 2015). Následně byly v letech 2010/2011 hlášeny populace *L. multiflorum* s mnohočetnou rezistencí vůči glyfosátu a inhibitorům ACCázy. Poté byla v roce 2017 nalezena také populace rezistentní na glyfosát a inhibitory ALS (Vargas a kol., 2016), (Christoffoleti et al., 2005).

U jílku mnohokvětého (*L. multiflorum*) se v letech 2003-2004 začaly nalézat populace rezistentní proti glyfosátu v jednoletých plodinách jako je sója, pšenice a kukuřice. Jílek mnohokvětý (*L. multiflorum*) se dobře přizpůsobuje jižní oblasti Brazílie, kde se používá jako zimní krycí plodina v systému bezorebného zemědělství, dále jako krycí plodina v sadech nebo jako píce. (Vargas a kol., 2004)

Dalším klíčovým travním plevem s rozšířenou rezistencí proti glyfosátu je *Digitaria insularis*, který je běžný v mnoha oblastech Brazílie, Bolívie a Paraguaye. První zpráva o *D. insularis* rezistentní vůči glyfosátu se objevila na polích sóji v Paraná v roce 2008. Rezistentní *D. insularis* se rychle rozšířila ze západního státu Paraná do centrální oblasti Brazílie, zejména v oblastech produkujících obilí a možná prostřednictvím kombajnů stejně jako nezávislé výběry (Adegas a kol., 2010).

Dále se vyskytují rezistentní populace u *Conyza spp.* a v poslední dekádě se šíří populace rezistentních laskavců (*Amarantus*) (Frene a kol., 2017), (Morichetti a kol., 2013).

4.2.8 Aktuální situace v Severní Americe

Podle Ministerstva zemědělství USA (2017) Severní Amerika (včetně Kanady, Mexika a USA) produkuje významnou část světového obilí a olejnatých semen. To zahrnuje 8 % veškeré pšenice, 34 % veškeré sóji a 36 % veškeré kukuřice. Oblasti produkce těchto plodin jsou z velké části v USA a Kanadě a naprostá většina případů herbicidní rezistence v Severní Americe je hlášena v těchto dvou zemích.

První případ HR hlášený v Severní Americe byl druh mrkvev obecná (*Daucus carota*) na auxinovou rezistencí v roce 1957 (Prokop, 2009). Do prvního případu rezistence na triazin v roce 1970 se však objevilo jen velmi málo dalších zpráv. Rezistence na triazin dominovala zprávám v průběhu následujících 17 let až do roku 1987, kdy začaly se objevovat první případy druhů odolných vůči ALS. Zprávy o rezistenci vůči herbicidům ACCase začaly přibližně ve stejnou dobu. Od poloviny do konce 90. let začaly v průzkumu dominovat případy rezistence na ALS a objevovaly se případy více rezistentních populací. První případ rezistence na glyfosát byl zaznamenán u *L. rigidum* v Kalifornii v roce 1998 (Peterson a kol., 2018).

Od roku 2005 se počet širokolistých plevelů s rezistencí vůči glyfosátům výrazně zvýšil. Druhy laskavců (*Amaranthus*) s herbicidní resistencí jsou pravděpodobně druhy s největším dopadem na většině území USA. Velká část jihovýchodu USA je zamořena druhem laskavcem Palmerův (*A. Palmeri*), která je odolná jak vůči glyfosátu, tak herbicidům ALS, a stále více rezistentní vůči glyfosátu, ALS a PPO (Peterson a kol., 2018).

Druhy *Amaranthus* mohou klíčit během vegetačního období a často produkují semena ve velmi krátkých obdobích (Evans, 2016). Léta používání glyfosátu, s ohledem na jeho nedostatek zbytkové kontroly, pomohlo podpořit dominanci druhů s prodlouženou dobou klíčení, jako jsou laskavce (Schonbeck, 2014).

Rezistentní populace turanky kanadské (*C. canadensis*) jsou široce rozšířeny ve střední a východní části Severní Ameriky od Mississippi po Ontario. Často je rezistentní vůči glyfosátu spolu s ALS, ale také prokázal rezistenci vůči inhibitorům PSII a v ojedinělých případech i inhibitorům PSI. Časně napadení rezistentních turanek byly zjištěny v Kalifornii (sady) a Delaware (sója), kde bylo použito glyfosátu vysoké (Peterson a kol., 2018).

(Davis a Johnson 2008) a (Buhler a Owen 1997) uvádějí, že posunující se vzorce vzcházení v kombinaci s rezistencí vůči herbicidům způsobily, že turakna kanadská (*C. Canadensis*) je primárním problémovým plevelem pro mnoho pěstitelů sóji v Severní Americe. Ambrosie trojklaná (*Ambrosia trifida*) je dalším druhem, který si vyvinul rezistenci jak vůči glyfosátu, tak vůči ALS herbicidům, a tyto biotypy se nacházejí ve velké části východních USA a Kanady.

Rezistentní trávy jsou ve většině amerických řádkových plodin méně běžné než širokolisté, ale jsou běžné v oblastech produkujících obiloviny v USA a Kanadě (Friesen a kol., 2009). Rezistentní *L. multiflorum* je problematická v mnoha oblastech s pěstováním pšenice po celé Severní Americe a trávy odolné vůči GR a ALS se nacházejí jak v řádkových plodinách, tak v obilovinách po celém kontinentu (Liu a kol., 2016).

Nedávný výskyt rozšířené rezistence vůči herbicidům inhibujícím PPO (Protoporfyrinogen oxidázu) byl zvláště znepokojující pro producenty řádkových plodin v USA. Výsledky z 593 terénních vzorků laskavce tamaryškového (*A. Tuberculatus*) a laskavce Palmerova (*A. Palmeri*) odebraných v 10 středozápadních státech ukázaly až 82 % pozitivních testů na odolnost vůči GR i PPO, v závislosti na státě. Na velké části středního jihu ve státech jako Arkansas a Tennessee bylo také objeveno 140 biotypů *A. palmeri* odolných vůči PPO (Plewa a Bissonnette 2017), (Peterson a kol., 2018).

4.2.9 Aktuální situace v Evropě

Poměrně složitá a rozmanitá plevelová flóra a systémy pěstování, stejně jako velmi variabilní velikosti farem nalezené v Evropě mohly způsobit vznik rezistence ve srovnání s jinými regiony světa (Sattin, 2005). Velikost farmy a vlastnosti půdy se mezi zeměmi EU velmi liší a s největší pravděpodobností patří mezi důležitější faktory, které ovlivňují přijetí zemědělských postupů. Ve srovnání s jinými regiony po celém světě se minimalizace zpracování půdy stále rozšiřuje a je přijímáno s cílem pomoci chránit půdu před erozí a snížit emise oxidu uhličitého, používání fosilních paliv, vyplavování dusíku a pesticidů a zlepšit strukturu půdy (Dietrich a Devuyst 2017).

Hamouzová a kol., (2015) uvádějí, že populace ovsů (*Avena spp.*), jsou rezistentní vůči inhibitorům ACCázy a/nebo ALS a to konkrétně oves hluchý (*A. Fatua*) a oves jalový (*A. Sterilis*) v severní a jižní Evropě. Rezistentní populace máku vlčího (*Papaver rhoeasse*) se vyskytují hlavně na Pyrenejském poloostrově, ale vyskytují se i v severní Evropě. Jsou obecně rezistentní vůči inhibitorům ALS a zejména na Pyrenejském poloostrově přibývá případů mnohonásobné rezistence vůči ALS a syntetickým auxinům.

Z hlediska evropského zemědělství patří mezi nejvýznamnější rezistentní plevele psárka polní (*Alopecurus myosuroides*), jílky (*Lolium spp.*) a ježatky (*Echinochloa spp.*). Psárka polní se v EU vyskytuje na 9 milionech hektarů a polovina těchto populací je rezistentní, a dokonce ve Velké Británii a Francii je toto procento dokonce ještě vyšší – 80 % a psárka se zde stává efektivně neřešitelným problémem (Moss, 2017). V mnoha evropských státech jako třeba Německo, Španělsko, Dánsko či Itálie patří k nejvýznamnějším plevelům jílky. V průzkumu provedeném ve Spojeném království bylo prokázáno, že 70 % populací jílku (*Lolium spp.*) je rezistentních k alespoň jednomu herbicidu. Také zmiňují, že populace rezistentní populace ježatky (*Echinochloa crus-galli*) komplikují pěstování kukuřice a rýže na polích např. v Itálii, Francii, Španělsku a Portugalsku.

Co se týče dvouděložných plevelů, jsou hlavním problémem, který ovlivňuje produkci sadů, turanky rezistentní k ALS inhibitorům. Převážně v západní Evropě ale už i v některých severovýchodních zemích stále narůstají rezistentní populace máku vlčího (*Papaver rhoeas*), heřmánkovců (*Tripleurospermum spp.*) a ptačince prostředního (*Stellaria media*) v ozimých obilninách a ječmeni jarním. Začali se objevovat i populace rezistentních laskavcovitých jako např. laskavce ohnutého (*Amaranthus retroflexus*) a merlíku bílého (*Chenopodium album*), v sousedním Polsku byly třeba popsány rezistentní populace laskavce ohnutého k metamitronu (účinná látka např. v přípravku VENZAR 500 SC) v řepě cukrové a v Itálii v kukuřici, sóje a

cukrové řepě k metamitronu a terbuthylazinu (účinná látka např. v přípravku AKRIS). V případě merlíku bílého byly rezistentní populace k metamitronu publikovány v roce 2005 v Belgii v kukuřici a v roce 2008 ve Švédsku v porostech cukrové řepy a bramborách (Heap, 2023).

Důsledkem vývoje rezistence vůči ACCase a ALS inhibitorům u druhů trav v malozrnných plodinách byl nárůst zavádění preemergentních herbicidů spolu s větším využíváním kulturních praktik, jako je občasné inverzní zpracování půdy a používání falešných set'ových lůžek, v aby se snížil tlak selekčního odporu a případně vyčerpala zásoba semen v půdě (seedbank) (Duke, 2012).

Vzhledem k nedostatku nových produktů, které se připravují, a stažení nebo nucenému snížení dávky mnoha účinných látek v důsledku procesu opětovné registrace je pravděpodobné, že se případy rezistence v blízké budoucnosti zvýší (Peterson a kol., 2018). K největším problémům dochází tam, kde jsou přijímány zjednodušené a standardizované agronomické postupy, jako je monokultura a používání herbicidů se stejným mechanismem účinku (Duke, 2012).

4.2.10 Aktuální situace v České republice

Podle Košnarová et al. (2020) lze stav herbicidní rezistence v ČR v porovnání s některými státy EU, Severní a Jižní Amerikou či Austrálií zatím hodnotit jako poměrně příznivý. I v České republice je však možno sledovat trend exponenciálně narůstajících případů rezistence u plevelů s vysokou škodlivostí jako třeba chundelka metlice (*Apera spica-venti*), sveřep jalový (*Bromus sterilis*), psárka polní (*Alopecurus myosuroides*) a z dvouděložných pak laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), merlík bílý (*Chenopodium album*) a mák vlčí (*Papaver rhoeas*), a to i přes relativně malou zasaženou plochu.

V České republice byl detekován poměrně vysoký počet rezistentních plevelných druhů (Tab. 1). Většina z nich byla nalezena a popsána v 80. a 90. letech dvacátého století a jednalo se zejména o rezistenci k herbicidům, které se již v současné době příliš nepoužívají – k dnes již zakázanému atrazinu ze skupiny inhibitorů fotosystému II. Velmi často docházelo ke vzniku rezistence na nezemědělských pozemcích (cesty, železnice), které byly dlouhodobě ošetřovány vysokými dávkami triazinových herbicidů. Další rezistentní druhy byly objeveny v sadech, výjimečně na orné půdě nebo se jednalo o druhy s lokálním významem (bytel metlatý, rosička krvavá, turanka kanadská). V devadesátých letech minulého století se díky řadě výhod, které spočívají např. v aplikaci pouze gramových dávek na hektar, širokém spektru účinku na plevel a nízké toxicitě vůči necílovým organismům, na našem trhu staly nejpoužívanější herbicidní

skupinou sulfonylmočoviny. Bohužel však u této skupiny herbicidů, která patří spolu s triazolopyrimidiny a imidazolinony mezi inhibitory enzymu ALS, dochází velmi rychle a často k rozvoji herbicidní rezistence. V důsledku intenzivního používání inhibitorů ALS se od 90. let minulého století začaly po celém světě včetně České republiky objevovat rezistentní populace jednoděložných i dvouděložných plevelných druhů k různým účinným látkám skupiny, brzy se objevila i křížová rezistence. Od roku 2004, kdy byla na našem území detekována první rezistentní populace chundelky metlice (*Apera spica-venti*) vůči chlorsulfuronu, bylo na ČZU v Praze do roku 2020 identifikováno již přes 750 rezistentních populací k ALS inhibitorům a řada z nich vykazovala i křížovou rezistenci. Brzy se objevily ALS rezistentní populace u dalšího travovitého druhu – psárky polní (*Alopecurus myosuroides*) a v posledních letech se rozvíjí rezistence k této skupině herbicidů u sveřepu jalového. V případě ochrany proti chundelce metlice a psárky polní zemědělci začali často na základě doporučení antirezistentních strategií volit jiné mechanismy účinku herbicidů, především inhibitory ACCázy a fotosystému II. V několika lokalitách však došlo k rozvoji rezistence i k těmto účinným látkám a dnes se zde zemědělci potýkají s vícenásobnou rezistencí.

V poslední době se začíná rozšiřovat rezistence i u dvouděložných plevelů. Počet případů, kdy dochází ke hlášení snížené účinnosti herbicidů používaných v ochraně např. proti laskavci ohnutému, merlíku bílému, heřmánkovci přímořskému, máku vlčímu a dalším na našem území přibývá a již byly detekovány první rezistentní populace. V případě merlíku bílého a laskavce ohnutého byla potvrzena rezistence ke metamitronu a terbuthylazinu ze skupiny onhibitorů PSII a v případě heřmánkovce nevonného a máku vlčího rezistence k florasulam a tribenuronu, účinných látek ze skupiny ALS inhibitorů (Hamouzová a kol. 2021).

Tabulka 1: Plevelné druhy, u nichž byla na území ČR potvrzena herbicidní rezistence

Druh (český název)	Druh (latinský název)	Rok popsání	Účinná látka	Skupina herbicidů	Místo nalezení
Rdesno blešník	<i>Polygonum lapathifolium</i>	1982	atrazin	PS II inhibitory	železnice
Laskavec ohnutý	<i>Amaranthus retroflexus</i>	1985	atrazin	PS II inhibitory	železnice, kukuřice, cukrovka
		2017	terbuthylazin, metamitron	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
Merlík bílý	<i>Chenopodium album</i>	1986	atrazin	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
		2017	terbuthylazin, metamitron	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka

Turanka kanadská	<i>Conyza canadensis</i>	1987	atrazin	PS II inhibitory	železnice, sady, kukuřice
		2007	glyfosát	ESPS inhibitory	železnice
Starček obecný	<i>Senecio vulgaris</i>	1988	atrazin	PS II inhibitory	železnice, sady
Lipnice roční	<i>Poa annua</i>	1988	atrazin	PS II inhibitory	železnice, sady
Laskavec Powellův	<i>Amaranthus powellii</i>	1989	atrazin	PS II inhibitory	sady
Rdesno červivec	<i>Polygonum persicaria (Persicaria maculata)</i>	1989	atrazin	PS II inhibitory	železnice
Ježatka kuří noha	<i>Echinochloa crus-galli</i>	1994	atrazin	PS II inhibitory	kukuřice
		2014	nicosulfuron	ALS inhibitory	kukuřice
Bytal metlatý	<i>Kochia scoparia</i>	1996	chlorsulfuron	ALS inhibitory	železnice
		1996	imazapyr	PS II inhibitory	železnice
Lilek černý	<i>Solanum nigrum</i>	1999	atrazin	PS II inhibitory	kukuřice
		2017	terbuthylazin, metamitron	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
Rosička krvavá	<i>Digitaria sanguinalis</i>	2005	atrazin	PS II inhibitory	železnice
Chundelka metlice	<i>Apera spica-venti</i>	2005	chlorsulfuron	ALS inhibitory	pšenice
		2005	isoproturon	PS II inhibitory	pšenice
		2011	fenoxaprop	ACCCase inhibitory	pšenice
Psárka polní	<i>Alopecurus myosuroides</i>	2008	chlorsulfuron	ALS inhibitory	pšenice
Sveřep jalový	<i>Bromus sterilis</i>	2017	pyroxsulam	ALS inhibitory	pšenice
Oves hluchý	<i>Avena fatua</i>	2017	propaquizafop	ACCCase inhibitory	pšenice
Heřmánkovec přímořský	<i>Tripleurospermum inodorum</i>	2018	tribenuron	ALS inhibitory	pšenice
Mák vlčí	<i>Papaver rhoeas</i>	2018	tribenuron	ALS inhibitory	pšenice

Zdroj: (Hamouzová a kol. 2021)

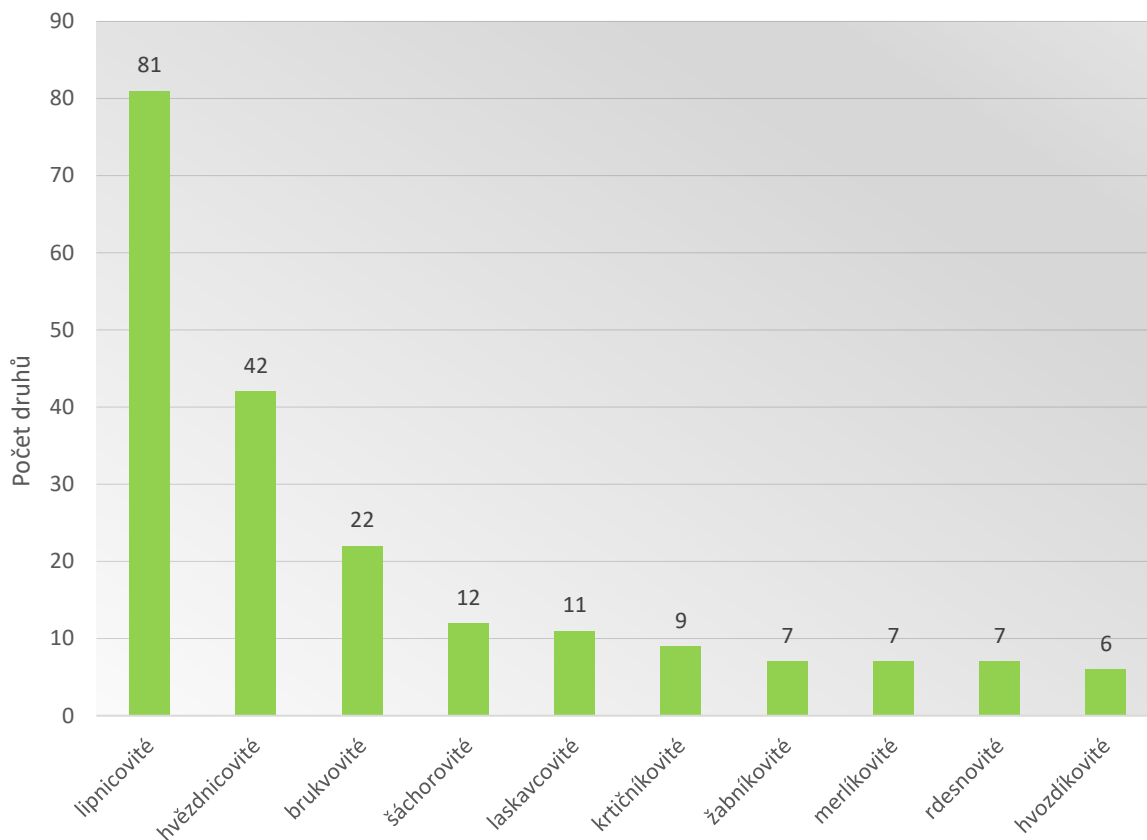
4.2.11 Důvody vzniku herbicidní resistance

Hamouzová a kol., (2013) definují herbicidní rezistenci jako přírodní jev, pro jejíž vznik musí být splněny dva předpoklady: (1) přítomnost genetické proměnlivosti (2) selekční tlak vyvolaný opakovanou herbicidní aplikací. Selektce je nejspíše tím nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje vývoj rezistentní populací jelikož dává rezistentním populacím výhodu. Časem se selekcí odolný biotyp stane v populaci dominantním. Právě vysoké dávky, kterými se často zemědělci snaží bojovat proti těmto populacím naopak urychlují šíření již existujících a vznik dalších rezistentních biotypů. Košnarová a kol. (2020) uvádějí, že to však není pouze způsob používání herbicidu, co rozhoduje, jestli vznikne herbicidní resistance a jak rychlý bude její evoluční proces. Klíčovými faktory jsou také herbicid samotný a způsob jeho používání. Herbicid a plevel spolu neustále interagují a proto je riziko vzniku herbicidní resistance konstantní.

Co se samotné rizikovosti pro daný herbicid týče, tak záleží především na mechanismu jeho účinku a jeho chemické struktuře. Gaines (2020) uvádí, že mechanismy účinku, které jsou v místech s častým a pravděpodobnějším výskytem mutací, jako jsou např. ALS, ACCase a PSII inhibitory, a to zahrnuje i látky, které jsou snadněji metabolizovatelné (ALS, ACCase inhibitory), zakládají vyšší míru vzniku resistance.

Resistance nevzniká jako mutace způsobená herbicidem, ale vzniká jako spontánní mutace bez ohledu na používání herbicidů, tato resistance pouze zvýhodní danou populaci oproti těm citlivým, a proto začne její podíl na pozemku exponenciálně narůstat s každým rokem. Velkoplošným používáním herbicidů došlo k selekci přirozených plevelných populací, jež přirozeně obsahují malé množství rezistentních genotypů a šíření rezistentních jedinců. Rezistentní populace jsou většinou méně konkurenceschopné v porovnání s ostatními populacemi bez resistance. (Kazda a kol., 2010).

Ačkoliv není prokázána podmíněnost mezi rostlinnými čeleděmi a rizikem vzniku resistance, je známo, že u trávovitých plevelů se resistance ke klíčovým skupinám herbicidů vyvíjí velmi rychle. U plevelů z čeledi lipnicovité bylo popsáno zatím nejvíce rezistentních druhů (Graf 1), tvoří 42% ze všech celosvětově dosud detekovaných rezistentních druhů včetně dvouděložných plevelů a herbicidní resistance této čeledi stále nabývá na významu.



Graf 1: Celosvětové zastoupení herbicidně rezistentních plevelných druhů z deseti významných čeledí, Heap 2018, www.weedscience.org

4.2.12 Prevence a boj s herbicidní rezistencí

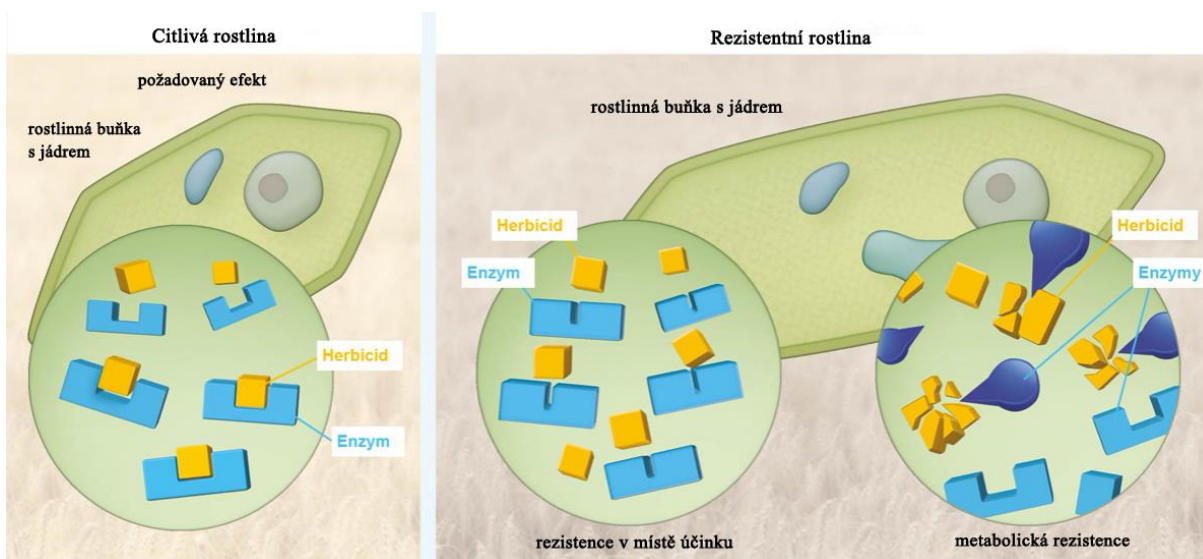
Mezi faktory, které mohou napovědět, zda se na pozemku vyvinula rezistence, je např. poměrné zastoupení přeživších a odumřelých jedinců, účinek přípravku na citlivé druhy, historie používání herbicidů na pozemku a také výskyt rezistence v okolí. Předpokládá se, že v každé plevelné populaci se přirozeně nachází malý počet jedinců s herbicidní rezistencí. Tato část populace je snadno přehlídnutelná a z hospodářského hlediska má minimální dopad. Opakovaná aplikace herbicidu dovoluje těmto rostlinám přežít, produkovat semena a následně se stát na pozemku dominantní. Pakliže je toto riziko vzniku herbicidní rezistence vysoké, například v případě používání rizikového herbicidu na rizikové plevele, musí být v antirezistentní strategii aplikovány tzv. modifikátory rizika, s cílem jej významně snížit. Mezi osvědčené modifikátory patří např. používání přípravků s více mechanismy účinku proti stejnému plevele ale také omezení opakovaného používání herbicidu, diverzifikace osevních sledů a způsobů zpracování půdy, které ovlivňují výskyt plevelů a složení plevelového spektra. Cílené používání modifikátorů rizika může podstatně oddálit, či zabránit rozvoji herbicidní

rezistence a mělo by být bráno v potaz na všech pozemcích kde byla v minulosti objevena herbicidní rezistence.

Antirezistentní strategie nelze doporučovat paušálně, ale jejich návrh se musí řídit lokálními podmínkami, které zahrnují podmínky přírodní a způsob hospodaření, na nichž závisí výskyt plevelů, pěstované plodiny a použitelné způsoby regulace plevelů. Vedle vhodného výběru přípravků a jejich kombinací je nutno pamatovat i na diverzitu používaných agrotechnických postupů, zvláště osevních postupů a způsobů zpracování půdy, které jsou v antirezistentních strategiích nepostradatelným prvkem (Hamouzová a kol., 2021).

4.2.13 Hlavní mechanismy herbicidní rezistence

Podle Gaines (2020) může vnitřních mechanismů herbicidní rezistence v rostlině být více, ale nejběžnějšími jsou změna vazebného místa na cílovém enzymu herbicidního účinku, nebo metabolizace účinné látky herbicidu v buňce plevele ještě dříve, než účinná látka dosáhne místa účinku (Obr. 2). Oba mechanismy jsou geneticky kódované a často jaderně dědičné, tudíž se přenášejí z generace na generaci a mohou být podděny po obou rodičích.



Obr. 2: Vazba herbicidu na cílový enzym (vlevo citlivá rostlina) a podstata herbicidní rezistence v místě účinku a metabolické rezistence (vpravo rezistentní rostlina), zdroj: www.research.bayer.com

Rezistenci plevelů na herbicidy může způsobit několik mechanismů. Herbicidy obecně vážou proteiny, jejichž aktivita je nezbytná pro vývoj herbicidů plevelů; to vede k úhynu rostliny. Mutace vznikají přirozeně působením environmentálních faktorů, jako je kosmické záření a sluneční světlo (teplo), nebo prostřednictvím přirozených chyb mechanismů opravy

DNA nebo jiných genetických chyb. Mutace v cílovém místě vede k substituci jedné aminokyseliny a způsobuje strukturální změnu ve vazebném místě proteinu, na který je zaměřen herbicid, který se již nemůže pevně vázat. V návaznosti na to protein zůstává částečně nebo plně aktivní a plevel přežívá (Integrated Weed Management, 2016)

Zlepšení metabolismu nastane, když je herbicid strukturálně změněn prostřednictvím degradačního mechanismu předtím, než může dosáhnout cílového místa. Rostliny mají složité mechanismy zahrnující více genů, které mohou přirozeně degradovat sloučeniny produkované například hmyzem nebo mikroorganismy (houby, bakterie atd.). Každá rostlina má schopnost používat tyto mechanismy k degradaci herbicidu určitou rychlostí a obvykle je degradována na biologicky neaktivní produkty. Je to tedy rychlost degradace, která v konečném důsledku ovlivňuje a ovlivňuje, zda je herbicid strukturálně změněn dostatečně rychle, aby nedosáhl na cílové místo neporušený (Integrated Weed Management, 2016).

V některých populacích plevelů odolných vůči herbicidům hrají důležitou roli enzymy cytochromu P450 v detoxikačních cestách, včetně detoxikace herbicidů. V rostlinách se P450 účastní sekundárního metabolismu a jsou známy jako klíčové enzymy ve fázi I metabolismu xenobiotik. Malathion je organofosfátový insekticid a známý jako inhibitor cytochromu P450, patří do nejsilnější skupiny inhibitorů (Hamouzová a kol., 2013), (Mizutani a Otha, 2010).

Křížová rezistence (cross resistance) velmi komplikuje praktickou ochranu proti plevelům v oblastech s výskytem rezistentních biotypů plevelů. Prakticky znamená, že rostlina, u níž byla vyvolána rezistence jedním herbicidem, se stává rezistentní i vůči dalším herbicidním látkám ze stejné chemické skupiny, dokonce v některých případech i vůči herbicidním látkám z jiných chemických skupin se stejným mechanismem účinku. Křížová rezistence byla prokázána u řady plevelných druhů. V našich podmínkách byla zjištěna např. u merlíku bílého (*Chenopodium album*). V případě cross-rezistence je ochrana proti těmto plevelům velmi komplikovaná. Rostliny jsou rezistentní vůči celé řadě herbicidních látek používaných v širokém spektru kulturních rostlin. Tyto rezistentní plevelné rostliny jsou potom téměř nevyhubitelné. Bez dalších znalosti spektra rezistence a citlivosti nelze na účinnou ochranu ani pomyslet (Mikulka a Chodbová, 1996).

4.3 Rezistence k významným skupinám herbicidů

4.3.1 Rezistence k inhibitorům ALS (acetolaktát-syntázy)

Herbicidy, které inhibují acetolaktátsyntázu, také známé jako acetoxykyselinová syntáza (AHAS), byly objeveny v polovině 70. let a jsou stále široce používány (Green a Owen,

2011). Enzym ALS je klíčovým krokem v biosyntéze esenciálních aminokyselin s rozvětveným řetězcem valinu, leucinu a isoleucinu. ALS je jaderně kódovaný enzym, který se přes tranzitní peptid přesouvá do chloroplastu. Existuje více než 50 různých herbicidů inhibujících ALS z pěti různých chemických tříd (sulfonylmočoviny, imidazolinony, triazolopyrimidiny, pyrimidinylthiobenzoáty a sulfonylaminokarbonyltriazolinony) (Shaner a kol., 1991), (Stetter, 1994).

Nejčastěji byly hlášeny substituce udělující rezistenci na Pro-197, následované mutacemi na Trp-574. Některé mutace ALS poskytují velmi vysokou úroveň rezistence a spektrum rezistence napříč chemickými skupinami se liší podle mutace. Obecné vzorce jsou takové, že mutace Trp-574 uděluje rezistenci vůči sulfonylmočovinám (SU) a imidazolinonu (IMI), mutace Ser-653 uděluje rezistenci vůči IMI, ale ne SU, a mutace Pro-197 uděluje rezistenci vůči SU, ale ne IMI. SU a IMI se váží na částečně se překrývající místa v enzymu ALS, ale mají různé způsoby vazby. To je důležité z evoluční perspektivy, protože rotace různých chemických skupin ALS v terénu pravděpodobně vybere stejnou mutaci, zatímco rotace mezi různými chemickými rodinami inhibujícími PSII může vybrat různé mutace (McCourt a kol., 2006), (Gaines a kol., 2020).

(Košnarová, 2012) uvádí, že byla rezistence proti ALS inhibitorům nalezena u 85% populací chundelky metlice z lokalit kde docházelo k neúspěšné regulaci v minulých letech.

4.3.2 **Rezistence k inhibitorům ACCázy (acetylkoenzym A-karboxylázy)**

Acetylkoenzym A karboxyláza (ACCCase) je prvním krokem syntézy mastných kyselin a katalyzuje karboxylaci malonyl-CoA závislou na adenosintrifosfátu (ATP) v cytoplazmě, chloroplastech, mitochondriích a peroxisomech buněk (Green a Owen, 2011). Herbicidy inhibující ACCázu obecně inhibují aktivitu ACCázy u jednoděložných druhů a ne u dvouděložných. Tři chemické třídy inhibitorů ACCázy jsou cyklohexandiony (DIM) (např. sethoxydim), aryloxyfenoxypionáty (FOP) (např. quizalofop) a fenylypyrazoliny (DEN) (např. pinoxaden) (Via-Ajub a kol., 2007).

Bylo popsáno osm mutací, všechny obsažené v karboxyl transferázové doméně enzymu ACCCase. Známé mutace se vyskytují na sedmi pozicích: I1781L nebo I1781V, W1999C nebo W1999L, W2027C, I2041N nebo I2041V, D2078G, C2088R a G2096A nebo G2096S (Kaundun 2014). Nejčastěji byly hlášeny substituce na pozicích Ile-1781 a Asp-2078 a tyto substituce propůjčují rezistenci vůči herbicidům aryloxyfenoxypionát (APP), cyklohexandion (CHD) a fenylypyrazolin (PPZ). Ile-1781 je ve vazebném místě pro tři chemické skupiny herbicidů ACCCase, což vysvětluje vzorec rezistence ke všem třem třídám. Asp-2078

není ve vazebném místě, ale vyskytuje se vedle Ile-1781, takže substituce Gly za Asp na 2078 může způsobit velký účinek na úroveň rezistence v důsledku podstatné změny ve struktuře vazebného místa. Mutace na pozicích Ile-2041 a Gly-2096 propůjčují rezistenci pouze vůči herbicidům APP, zatímco mutace na pozici Trp-2027 mohou udělovat rezistenci vůči herbicidům APP a PPZ (Beckie a Tardif, 2012).

4.3.3 **Rezistence k inhibitorům PSII (fotosystém II)**

Fotosyntetické inhibitory regulují mnoho širokolistých a některé travní plevely. Obecně tyto herbicidy inhibují fotosyntézu vazbou na D1 proteiny komplexu fotosystému II v chloroplastových tylakoidních membránách. Vazba herbicidu na tento protein blokuje transport elektronů a zastavuje fixaci CO₂ a produkci energie potřebné pro růst rostlin.

První objevená mutace v cílovém místě byla pro herbicidy inhibující fotosystém II (PSII), které soutěží s plastochinonem o vazbu na protein D1 kódovaný genem *psbA*, a tím inhibují transport elektronů PSII. Aminokyselinové substituce v genu *psbA* typicky propůjčují vysokou úroveň odolnosti vůči jedné chemické rodině, ale ne vůči herbicidům z jiných rodin nebo skupin. Například změna jedné aminokyseliny S264G uděluje vysokou úroveň odolnosti vůči triazinovým herbicidům u mnoha druhů po celém světě (Hirschberg and McIntosh 1983), ale střední až žádná rezistence na ostatní skupiny inhibitorů PSII, včetně triazinonů, které jsou ve stejné skupině jako triaziny. Náhrada Gly za Ser na pozici 264 zabraňuje vazbě triazinu, ale také kompromituje vazbu plastochinonu a zhoršuje fotosyntézu, což má za následek silnou penalizaci fitnessu rostliny. Substituce S264T uděluje rezistenci na triaziny a močoviny, ale ne na nitrilové nebo triazinonové rodiny. Další mutace udělující rezistenci na *psbA* zahrnují V219I, N266T, F255I a A251V (Gronwald, 1994).

5 Metodika

5.1 Sběr populací

Sběr semen chundelky metlice proběhl v červenci roku 2022 před sklizní pšenice ozimé z rostlin, které přežily aplikaci herbicidy. Populace byly nasbírány v okrese Třeboň na vyžádání podniků K + K Břilice spol. s r.o. a Statek Lomnice spol. s r.o. , ve kterých se dlouhodobě potýkají se silným zaplevelením chundelky metlice na několika stanovištích. Bylo sebráno šest populací ze stanovišť, kde byl již v minulosti problém se zaplevelením a nízkou účinností určitých herbicidních postřiků.

Z každého pole bylo sebráno přibližně 300 rostlin, což odpovídá cca 10 dkg semen. Laty byly v laboratoři dosušeny a poté z nich byly získány obilky, které byly do výsevu uchovány ve tmě při pokojové teplotě.

5.2 Použité herbicidy

5.2.1 CORELLO

Herbicidem inhibující acetolaktátsyntázu (ALS) použitým při pokusu byl přípravek CORELLO, jehož účinnou látkou je pyroxsulam. Pyroxsulam náleží do skupiny triazolopyrimidinů a v rostlinách pozastavuje syntézu bílkovin. Používá se na porosty pšenice ozimé, triticales ozimé a ozimého žita. Účinný je proti nerezistentním populacím druhů: chundelka metlice, heřmánkovec přímořský, svízel přitula (pouze při podzimní aplikaci), výdrol řepky, violka rolní, kokoška pastuší tobolka, penízek rolní, ptačinec žabinec, rozrazil perský a sveřep jalový. Je méně účinný proti svízelu. Optimálně by se měl aplikovat v fázy 2–10 pravých listů (BBCH 12–19). Aplikace 125 g/ha v 200 – 300l, při aplikaci na sveřep jalový 250 g/ha. Maximálně 1 aplikace. Neměl by se používat v poškozených či oslabených porostech.

5.2.2 AXIAL PLUS

Herbicidem inhibující acetylkoenzym A-karboxylázu (ACCCase) použitým při pokusu byl přípravek AXIAL PLUS, jehož účinnou látkou je pinoxaden. Používá se na porosty pšenice ozimé i jarní, triticales ozimé i jarní, ječmene ozimého i jarního a ozimého i jarního žita. Účinný je proti nerezistentním populacím druhů: chundelka metlice a oves hluchý. Je méně účinný proti svízelu. Optimálně by se měl aplikovat v růstové fázy BBCH 21–39 pro chundelku metlici a

BBCH 12-31. Aplikace 0,9l/ha v 200 – 400l, pro jarní pšenici a ječmen jarní 0,6l/ha. Maximálně 1 aplikace. Nepoužívat v poškozených či oslabených porostech.

5.2.3 LENTIPUR

Herbicidem inhibující fotosystém II použitým při pokusu byl LENTIPUR, jehož účinnou látkou je chlorotoluron. Používá se na porosty pšenice ozimé, triticales ozimé, žit ozimé, ječmen ozimý a mák. Účinný je proti nerezistentním populacím druhů: chundelka metlice, psárka rolní, jílky, lipnice roční, kokoška pastuší tobolka, chrpa modrák, konopice rolní, koleneč rolní, plevle heřmánkovité, rmeny, ptačinec žabinec, drchnička rolní, hluchavka nachová, rdesna. Je méně účinný proti druhům: pryšce, zemědělm lékařský, pomněnka rolní, penízeček rolní, laskavec ohnutý, merlík bílý, mléč rolní. Optimálně by se měl aplikovat v fázi 2 pravých listů (BBCH 10-12) jinak zvyšovat dávku. Aplikace 1-3 l/ha v 200 – 300l podle růstové fáze plevle, při aplikaci na do porostu žita a triticales max 2 l/ha a pro mák max 2,4 l/ha. Maximálně 1 aplikace. Nepoužívat v poškozených či oslabených porostech.

5.2.4 COUGAR FORTE

Účinnou látkou pro COUGAR FORTE jsou 1:1 flufenacet a diflufenican. Používá se na porosty pšenice ozimé, triticales ozimé, žit ozimé a ječmene ozimého. Účinný je proti nerezistentním populacím druhů: chundelka metlice, svízel přítula, kokoška pastuší tobolka, konopice napuchlá, merlík bílý, hluchavka nachová, plevle heřmánkovité, pohanka svačcovitá, ptačinec žabinec, penízeček rolní, violka rolní, pomněnka rolní, mák vlčí, výdrol máku setého, výdrol řepky olejky. Méně účinný proti svízeli při dávce 0,35 l/ha. Optimálně by se měl aplikovat do chundelky metlice před odnožováním (před BBCH 20) do dvouděložných plevelů do fáze 2 pravých listů (BBCH 10-12). Aplikace 0,5 l/ha v 200 – 400l, při aplikaci na dvouděložné jednoleté plevle pouze 0,35 l/ha. Maximálně 1 aplikace.

Agrochemical Products (2023) popisuje diflufenican jako syntetickou chemickou látku patřící do skupiny karboxamidů. Působí jako reziduální a listový herbicid, který lze aplikovat preemergentně i postemergentně. Po použití diflufenicanu dochází k vybělení rostlinných pletiv v důsledku inhibice biosyntézy karotenoidů, dochází tak současně k inhibici fotosyntézy, což vede následně k úhynu rostliny. Flufenacet je specificky půdní herbicid působící preemergentně. Flufenacet ovlivňuje buněčné membrány meristematických tkání u těchto

druhů trav a narušuje jak selektivitu membrány, tak propustnost. To zabraňuje buněčnému dělení a tím zabraňuje růstu nežádoucích druhů trav.

5.2.5 SUMIMAX

Účinnou látkou pro SUMIMAX je flumioxazin. Používá se na porosty pšenice ozimé a sójy. Účinný je proti neresistentním populacím druhů: lipnice roční, chundelka metlice, jílek mnohokvětý, hořčice rolní, ředkev ohnice, lebedy, rdesna, kapustka obecná, hluchavky, heřmánkovité plevelle, ptačinec žabinec, chrpa modrák, mák vlčí, violka rolní, rozrazil, pomněnka rolní, kokoška pastuší tobolka, kakost měkký, výdrol řepky, kontryhel obecný, konopice polní, starček obecný, penízek rolní, vikev huňatá, hulevník lékařský. Méně účinný proti svízeli a violce trojbarevné. Odolné jsou: pýr plazivý, pcháč rolní, lilek černý, laskavec ohnutý a trávy od fáze BBCH 25 a více. Optimálně by se měl aplikovat preemergentně případně postemergentně do fáze 4 pravích listů (BBCH 10-14). Aplikace 60 g/ha v 200 – 600l, při aplikaci do porostu sójy 80-100 g /ha Maximálně 1 aplikace.

Flumioxazin (fmx) je půdní herbicid z rodiny N-fenylftalimidů. Tento primárně preemergentní herbicid je absorbován klíčovými sazenicemi a zastavuje první fáze vývoje. U plevelů dochází k vybělení pletiv a rostliny rychle odumírají. Fmx je účinný inhibitor oxidázy protoporphyrinogenu IX (protox), enzymu zapojeného do biosyntézy chlorofylu i hemu prostřednictvím transformace protoporphyrinogenu IX na protoporphyrin IX (Labonne a Capou, 1998)

5.3 Založení nádobového pokusu

Semena šesti vybraných populací chundelky metlice byla vyseta 5. 9. 2022 do hloubky max. 1 mm do plastových nádob o objemu 250 ml do půdy černozemního typu, která neobsahovala žádná rezidua herbicidů či jiných chemických látek. Krátce po vzejití byly rostliny chundelky metlice vyjednoceny na konečný počet 12 - 15 rostlin/nádobu. Nádobky byly po výsevu umístěny v kryté vegetační hale na demonstračním pozemku ČZU. Rostliny byly zalévány podmokem a 1x během vegetace přihnojeny hnojivem N-P-K (19 - 6 – 20). Do pokusu byla zařazena také populace se známou citlivostí k některým herbicidním přípravkům. Jednalo se o citlivý standard z lokality, kde není chundelka metlice dlouhodobě ošetřována.

5.4 Aplikace herbicidů

Postemergentní listová herbicidů byla provedena přesným komorovým laboratorním postřikovačem AVIKO PK-3, byla použita tryska Lurmark 01 E 80 a nastaven tlak na hodnotu 0,23 MPa, celkový objem postřikové kapaliny odpovídal dávce 250 l ha⁻¹. Dávka kapaliny byla regulována rychlostí pojezdu. V případě přípravků Cougar Forte a Sumimax byla aplikace provedena dne 30. 9. 2022 v růstové fázi chundelky metlice BBCH 10-11, jak je doporučováno výrobcem a kdy je dosaženo nejlepšího účinku. Ostatní přípravky byly aplikovány ve fázi 2-3 listů chundelky metlice (BBCH 12-13) dne 7. 10. 2022. Citlivost chundelky metlice byla testována v registrovaných dávkách přípravků (Tab. č. X). U každé populace bylo vyhrazeny čtyři květináče pro každý z pěti testovaných postřiků, nadále byly vyhrazeny čtyři květináče u každé populace, u kterých aplikace neproběhla, aby bylo možné provést kontrolu a vyhodnocení jednotlivých populací.

Tabulka 2: Seznam přípravků, účinných látek a dávek použitých k ošetření chundelky metlice v nádobovém pokuse

Přípravek	Dávka (g, l . ha-1)	Účinné látky	Mechanismus účinku herbicidu
Corello	125 g/ha	pyroxsulam	Inhibitor ALS
Axial Plus	0,9 l/ha	pinoxaden	Inhibitor Accázy
Lentipur	2 l/ha	chlorotoluron	Inhibitor PSII
Cougar Forte	0,35 l/ha	flufenacet, diflufenican	Inhibitor VLCFA + PDS
Sumimax	60 g/ha	flumioxazin	Inhibitor PPO

6 Výsledky

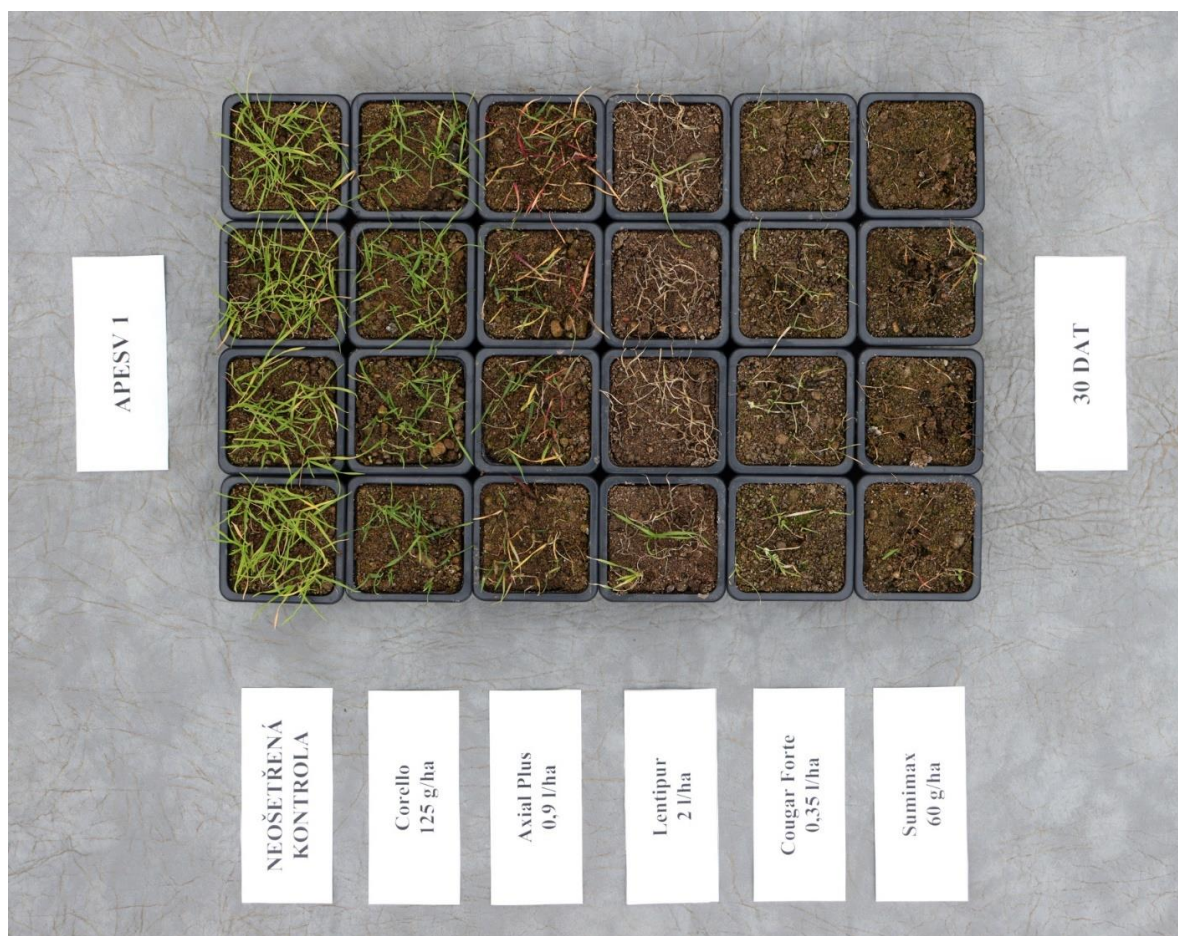
6.1 1. Populace

U první populace byla detekována vysoká úroveň herbicidní rezistence k inhibitoru acetolaktátsyntázy (ALS), konkrétně vůči herbicidu CORELLO s účinnou látkou pyroxsulam. Rostliny byly schopné ošetření tímto herbicidem přežít s pouze malým vlivem na jejich fitness a budou schopny konkurovat kulturní plodině a se zapojit do reprodukce. U přípravků AXIAL PLUS a LENTIPUR nebyla sice 100% účinnost, ale přípravky byly schopny spolehlivě populaci potlačit a jejich snížená účinnost není způsobena rezistencí populace proti těmto postřikům. Přípravky COUGAR FORTE a SUMIMAX měly 100% účinnost, tudíž by pro kontrolu populací chundelky metlice a prevence dalšího rozvoje rezistence na tomto stavišti bylo nejefektivnější používat právě tyto přípravky v kombinaci s přípravky AXIAL PLUS a LENTIPUR a nadále monitorovat populaci jako prevenci rozvoje dalších rezistencí.

Tabulka 3: Vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků u populace číslo 1 30 dní po aplikaci

Populace č.	opak.	Účinnost (%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
1	A	25	90	85	100	100
	B	25	82	100	100	100
	C	25	85	100	100	100
	D	25	85	95	100	100
	Prům.	25	85,5	95	100	100

Obr. č. 1: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u populace č. 1



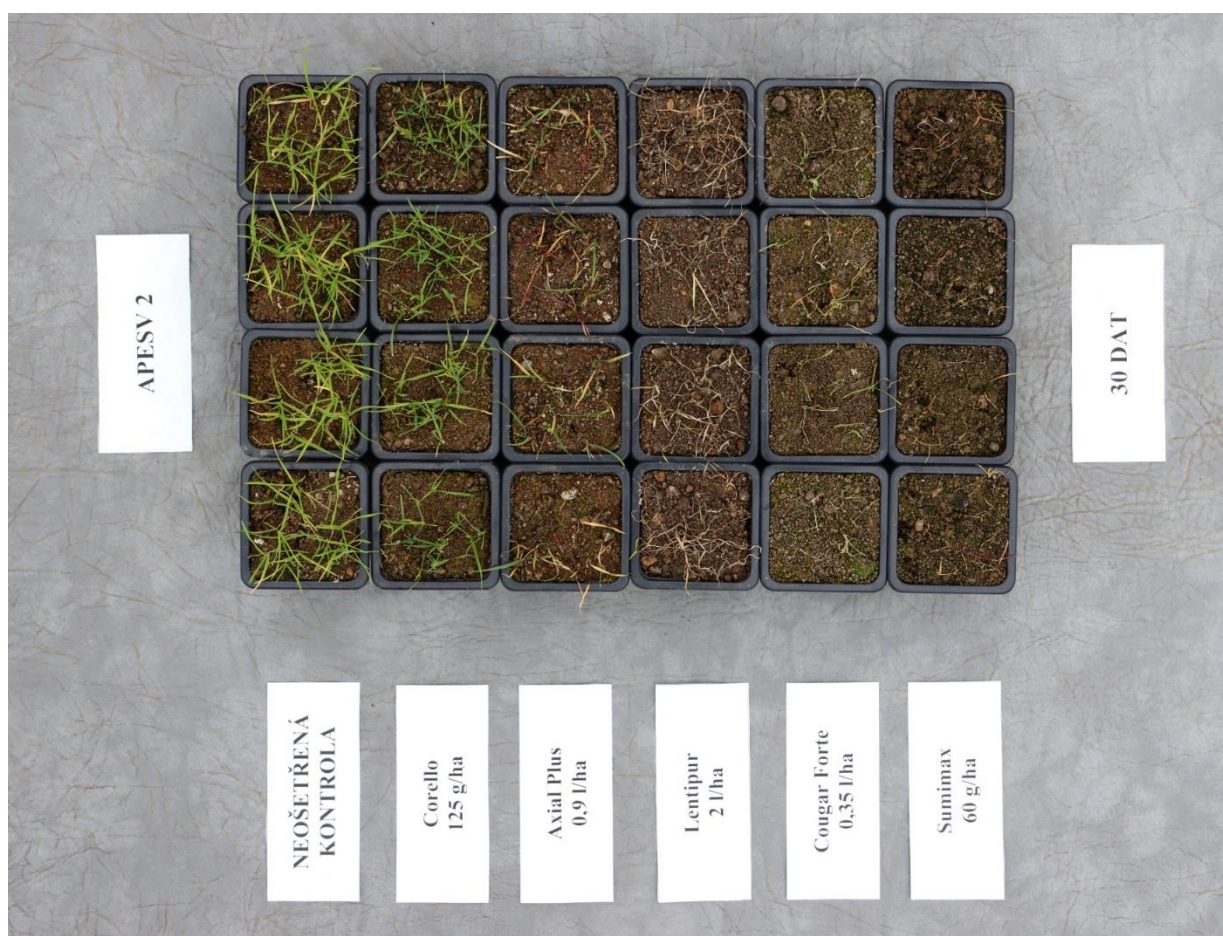
6.2 2. Populace

U druhé populace sledujeme stejný trend jako u populace č. 1., je přítomna vysoká rezistence proti přípravku CORELLO. Přípravek AXIAL PLUS opět neměl 100% účinnost, ale byl efektivní s tím rozdílem, že kromě přípravků COUGAR FORTE a SUMIMAX má 100% účinnost i přípravek LENTIPUR. Nejeftivnější postup regulace populací chundelky metlice na tomto stanovišti by opět zahrnoval střídání těchto čtyř herbicidů a pokračovat v monitoringu.

Tabulka 4: Vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků u populace číslo 2 30 dní po aplikaci

Populace č.	opak.	Účinnost(%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
2	A	30	90	100	100	100
	B	25	88	100	100	100
	C	25	90	100	100	100
	D	25	90	100	100	100
	Prům.	26,25	89,5	100	100	100

Obr. č. 2: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u populace č. 2



6.3 3. Populace

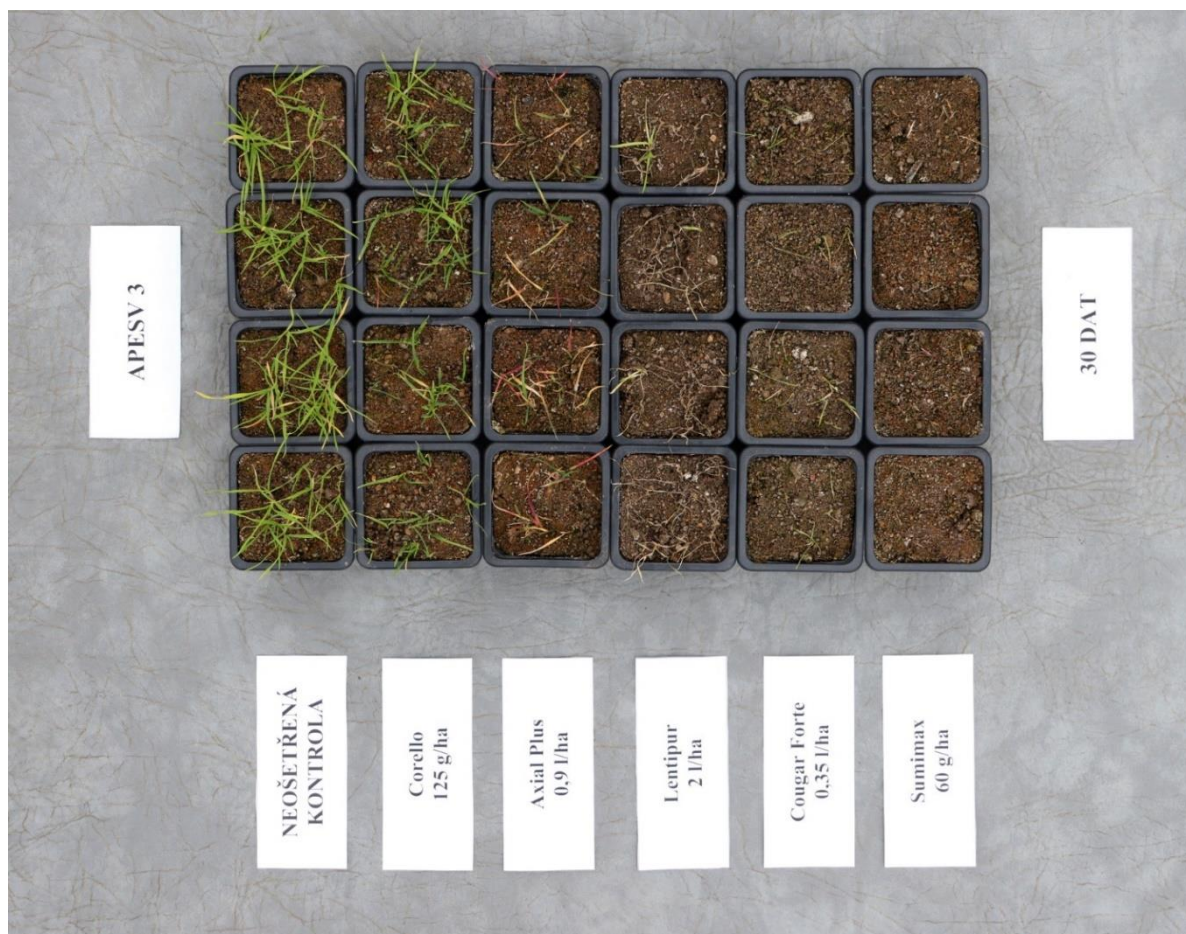
U třetí populace byla resistance proti ALS inhibujícímu CORELLU o něco nižší než u ostatních populací. I přes sníženou fitness a konkurenceschopnost po aplikaci se 3. populace bude schopna zapojit do reprodukce a dál šířit rezistenci. Opět nebyla nalezená žádná resistance proti přípravku AXIAL PLUS., U přípravku LENTIPUR se u 3 ze 4 nádob nenalézaly žádné známky resistance. V jedné z nádob se však našla ojedinelá rostlina, proti které byl přípravek

méně účinný než u předchozích populací. COUGAR FORTE a SUMIMAX měli opět 100% účinnost. Na tomto stanovišti bude nutné monitorovat rezistenci proti přípravku LENTIPUR, aby se objasnilo, zda se jedná o ojedinělý případ, nebo počátek rezistence.

Tabulka 5: Vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků u populace číslo 3 provedené 30 dní po aplikaci.

Populace č.	opak.	Účinnost (%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
3	A	35	85	100	100	100
	B	45	85	100	100	100
	C	40	80	100	100	100
	D	35	82	90	100	100
	Prům.	38,75	83	97,5	100	100

Obr. č. 3: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u populace č. 3



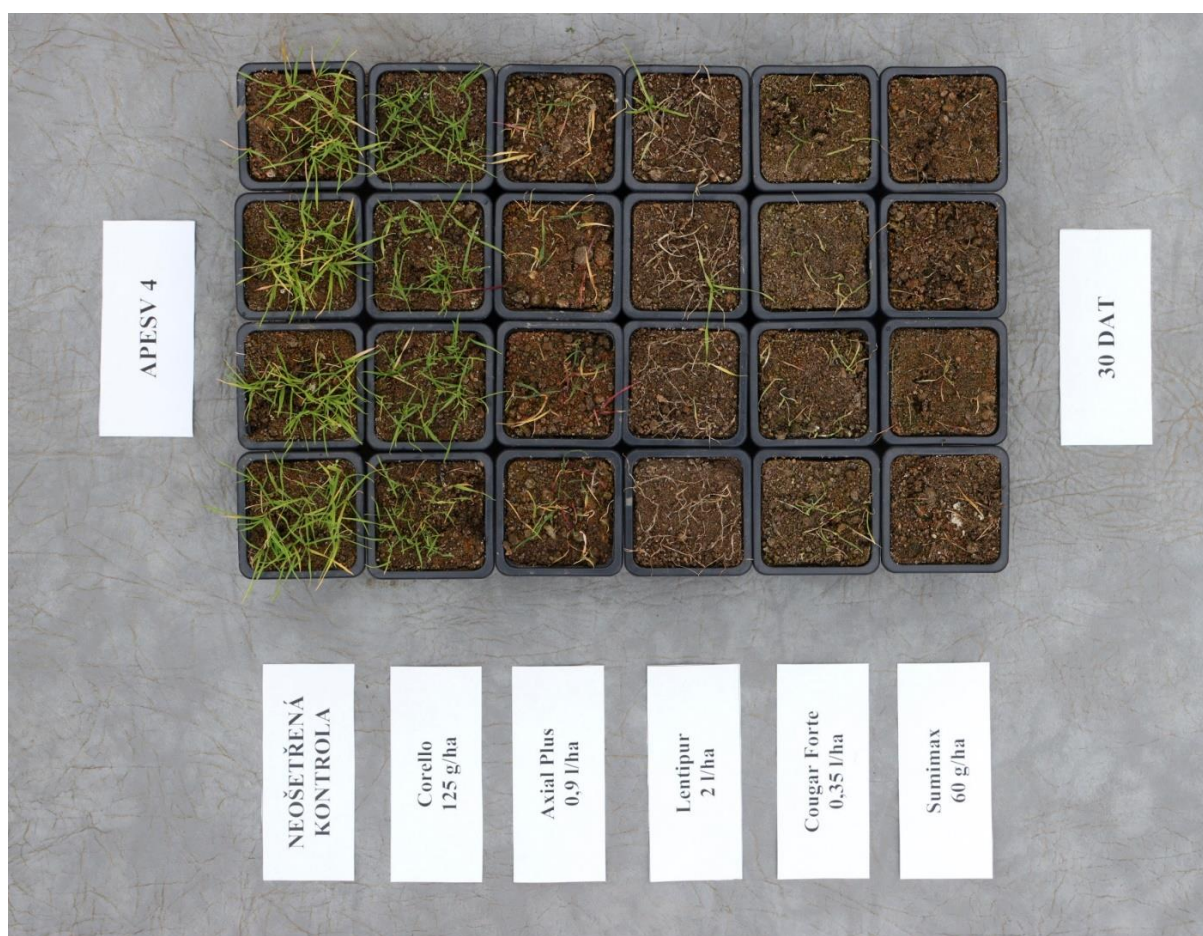
6.4 4. Populace

U čtvrté populace byla nalezena druhá nejsilnější rezistence vůči přípravku CORELLO ze všech testovaných populací. Opět nebyla nalezena žádná rezistence proti přípravku AXIAL PLUS a opět bylo nalezeno několik ojedinělých rostlin se sníženým účinkem přípravku LENTIPUR jako u 3. populace i přes jeho dobrou celkovou účinnost. COUGAR FORTE a SUMIMAX mají opět 100% účinnost.

Tabulka 6: Vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků proti populaci číslo 4. provedené 30 dní po aplikaci.

Populace č.	opak.	Účinnost(%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
4	A	20	82	100	100	100
	B	25	85	100	100	100
	C	20	85	80	100	100
	D	20	85	80	100	100
	Prům.	21,25	84,25	90	100	100

Obr. č. 4: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u populace č. 4



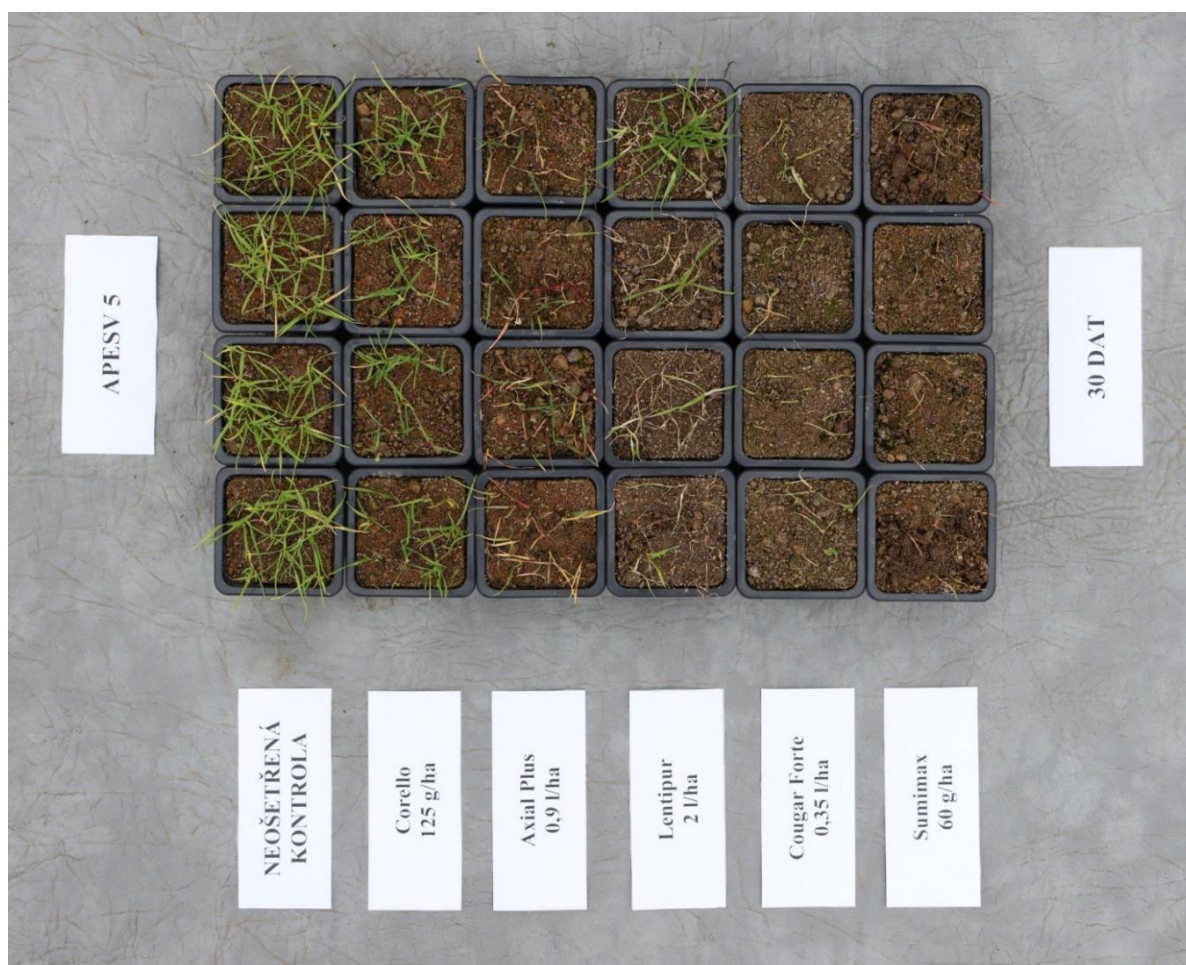
6.5 5. Populace

U páté populace je rezistence proti přípravkům CORELLO a AXIAL PLUS srovnatelná s předchozími populacemi. Pro přípravek LENTIPUR se však vyskytuje výrazně vyšší počet rostlin, proti kterým měl přípravek menší účinnost. V jedné z nádob byla účinnost pouze 50% což naznačuje počátek výskytu rezistence. COUGAR FORTE a SUMIMAX měly opět 100% a měly by být využity pro boj proti rezistentním populacím.

Tabulka 7: Subjektivní vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků proti populaci číslo 5. provedené 30 dní po aplikaci

Populace č.	opak.	Účinnost(%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
5	A	25	85	90	100	100
	B	30	82	90	100	100
	C	20	85	70	100	100
	D	20	82	50	100	100
	Prům.	23,75	83,5	75	100	100

Obr. č. 5: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u populace č. 5



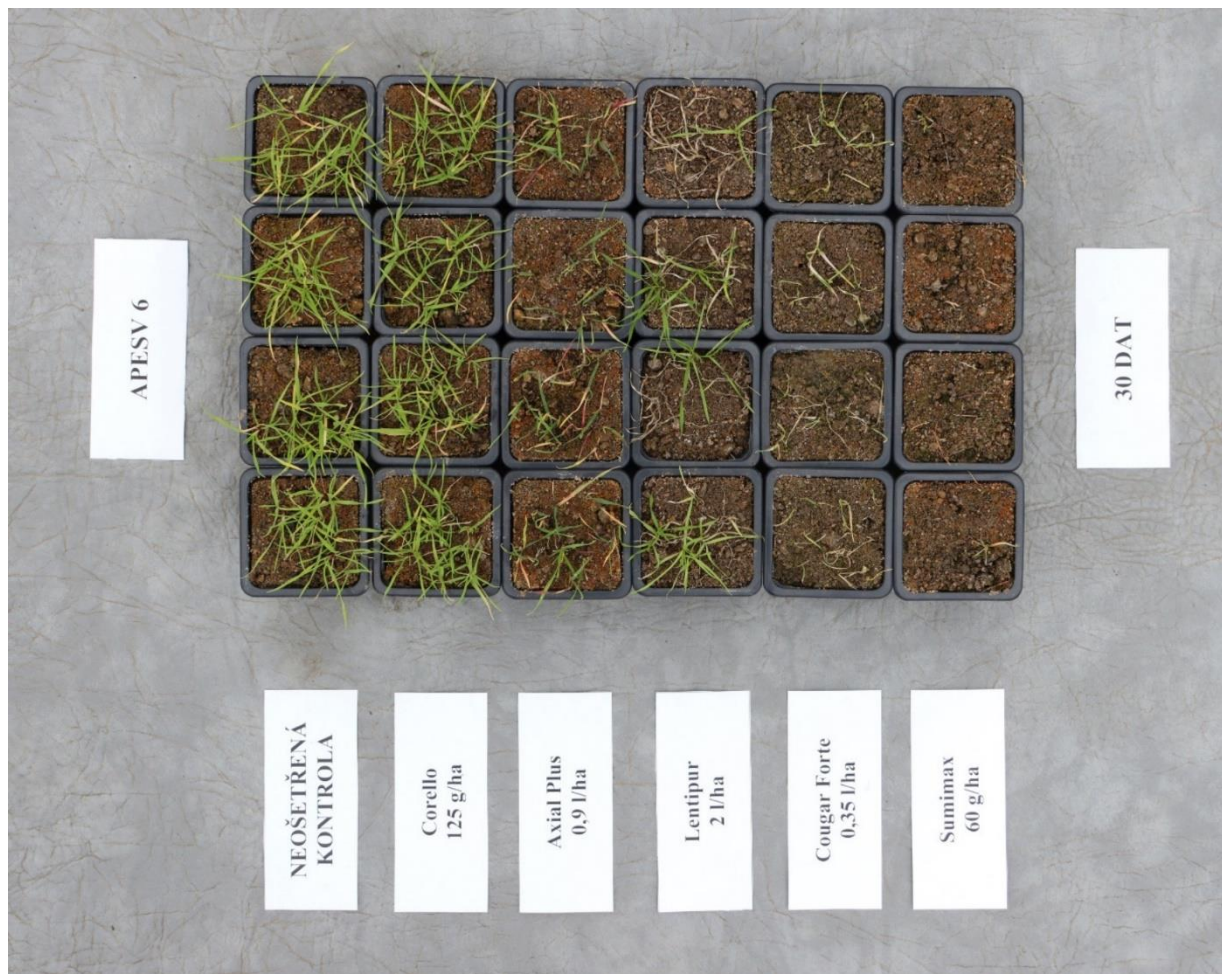
6.6 6. Populace

U šesté populace byla detekována nejsilnější rezistence ze všech testovaných populací. Účinnost přípravku CORELLO byla o více jak 10% slabší než u ostatních populací a na 6. populaci nebylo kromě malého výškového rozdílu vůbec znatelné, že byl použit herbicid. Účinnost přípravku AXIAL PLUS byla také nižší než u ostatních populací a u přípravku LENTIPUR byla v průměru účinnost slabší o více jak 20% a bylo nalezeno několik zdatných rostlin a je evidentní přítomnost rezistence. Pro SUMIMAX byla účinnost opět 100% avšak u přípravku COUGAR FORTE bylo pozoruhodné, že účinnost nebyla 100% jako u ostatních populací. Zatímco u předchozích populací bylo po aplikaci COUGAR FORTE nalezeno pouze několik uhynulých rostlin, u této populace se objevily rostliny které sice nebudou schopny života, ale nebyly zcela přípravkem redukovány. U této populace bude v budoucnu obzvláště důležité monitorovat rezistenci, aby se zabránilo dalšímu rozvoji.

Tabulka 8: Vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků proti populaci číslo 6. provedené 30 dní po aplikaci

Populace č.	opak.	Účinnost(%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
6	A	10	75	50	99	100
	B	15	75	70	99	100
	C	10	82	60	99	100
	D	15	78	80	99	100
	Prům.	12,5	77,5	65	99	100

Obr. č. 6: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u populace č. 6



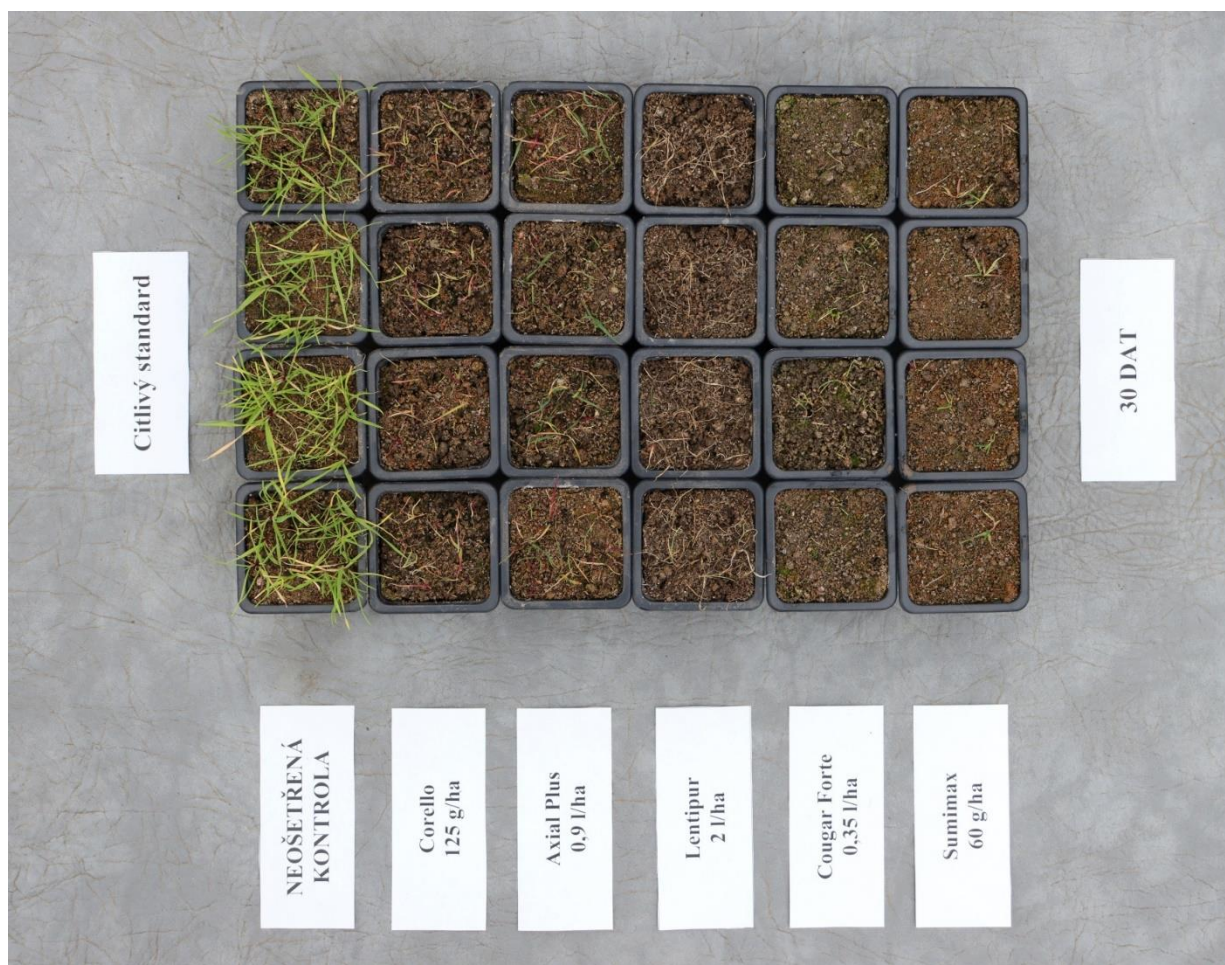
6.7 Citlivá kontrola

Citlivá kontrola byla využita pro porovnávání při vyhodnocování jednotlivých populací. Je u ní dobře patrné, jak mají jednotlivé přípravky účinkovat a jaký mají mít efekt na zasažené plevelné rostliny.

Tabulka 9: Vyhodnocení účinnosti jednotlivých přípravků proti citlivé kontrole. provedené 30 dní po aplikaci

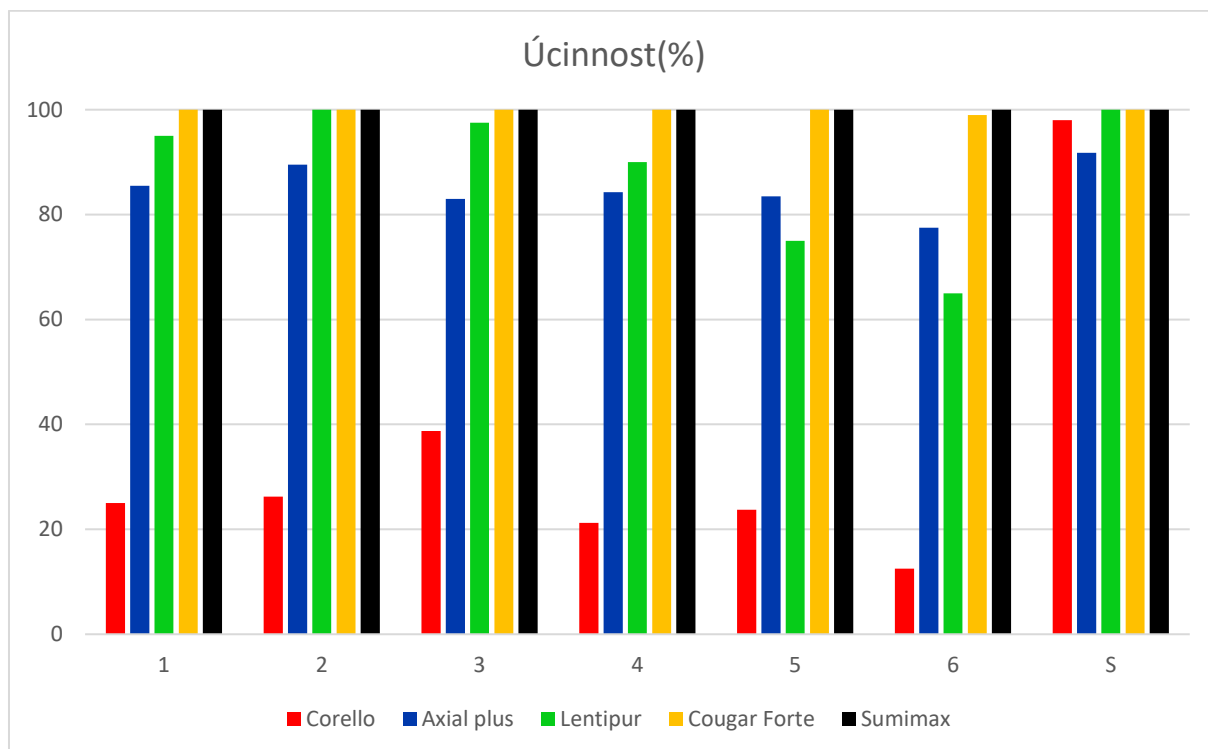
Populace č.	opak.	Účinnost(%)				
		Corello	Axial Plus	Lentipur	Cougar Forte	Sumimax
S	A	98	95	100	100	100
	B	98	90	100	100	100
	C	98	92	100	100	100
	D	98	90	100	100	100
	Prům.	98	91,75	100	100	100

Obr. č. 7: Účinnost vybraných herbicidů 30 dní po jejich aplikaci u citlivé kontroly



6.8 Celkové zhodnocení testovaných populací

Graf 2: Průměrná účinnost pěti testovaných herbicidů proti jednotlivým populacím chundelky



7 Diskuze

Od roku 2000 začaly přibývat případy selhání herbicidní regulace chundelky metlice (*Apera spica-venti*) při použití herbicidů na bázi inhibice enzymu acetolaktátsyntázy (ALS). První případ rezistence vůči sulfonylmočovinám (inhibitory ALS) byl zjištěn v Německu v roce 1996 (Niemann, 2000). V České republice byl v roce 2005 potvrzen první případ herbicidní rezistence vůči účinné látce chlorsulfuron ze skupiny inhibitorů ALS, v té době nejpoužívanějšímu herbicidu v ochraně proti chundelce. Postupně přibývaly případy rezistence chundelky metlice v dalších státech, dosud byla potvrzena v 11 zemích: Francii, Německu, Dánsku, Švýcarsku, Švédsku, Rakousku, České republice, Polsku, Lotyšsku, Belgii a v Litvě. Z hlediska rezistence vůči konkrétním třídám ALS herbicidů byla do dnešní doby ve světě prokázána rezistence vůči: sulfonylmočovinám, sulfonylaminokarbonyl-triazolinonům a triazolopyrimidinům (Heap, 2023). Tato herbicidní skupina má velkou schopnost v poměrně krátké době selektovat rezistentní populace plevelů.

V posledních letech bohužel začalo přibývat případů, kdy jsou tyto populace chundelky metlice zároveň rezistentní také k některé z účinných látek ze skupiny inhibitorů enzymu acetylkoenzym A karboxylázy (fenoxaprop, pinoxaden) nebo k inhibitorům fotosystému II (nejčastěji k chlorotoluronu). Tato vícenásobná rezistence k různým herbicidním mechanismům v daných lokalitách velmi komplikuje ochranu. Existují již i populace, které jsou rezistentní ke všem třem výše uvedeným mechanismům účinku. Tento typ rezistence nalezený v jižních Čechách prakticky vylučuje z použití většinu postemergentních herbicidů (Hamouzová a kol., 2021). Tato vícenásobná rezistence, která byla v této práci studována, se pravděpodobně vyvine u populace č. 6, u které se projevila snížená účinnost chlorotoluronu (LENTIPUR) a pinoxadenu (AXIAL PLUS). U této populace se vyskytovali první jedinci, kteří přežili aplikaci těchto účinných látek. Na této lokalitě je tedy potřeba dále sledovat vývoj rezistence k těmto dvěma mechanismům účinku herbicidů.

Stále více zemědělců v České republice se snaží využívat při regulaci chundelky širší portfolio přípravků. Vhodným řešením regulace rezistentní chundelky se ukázalo použití účinných látek ze skupiny inhibitorů syntézy dlouhých řetězců mastných kyselin (VLCFA) – flufenacet a prosulfocarb. Všechny přípravky s jejich obsahem vykazovaly vysokou účinnost (82-100%) (Košnarová a kol., 2018). Pokus provedený v této práci přinesl stejné výsledky. Účinná látka flufenacet obsažená v použitém přípravku COUGAR FORTE společně s další účinnou látkou diflufenican dosahovala u vybraných populací spolehlivého účinku (99–100%). Vysokou účinnost při regulaci chundelky metlice vykazuje také účinná látka prosulfocarb, která

je považována za herbicid, proti kterému se obtížněji vyvíjí rezistence (Andreasen a kol., 2020). To potvrzují i výsledky nádobového pokusu této práce. U všech šesti testovaných populací, které vykazovaly rezistenci k ALS inhibitoru (pyroxsulam), měla účinná látka prosulfocarb 100% účinnost. Dále ve své práci Košnarová a kol., (2018) uvádějí, že v lokalitách, kde byla prokázána rezistence pouze k inhibitorům ALS, je u chundelky metlice dosahováno stále dobré účinnosti v případě použití chlortoluronu ze skupiny inhibitorů fotosystému II (PSII) a inhibitorů ACCázy (pinoxaden, fenoxaprop) a uvádějí, že u převážné většiny testovaných vzorků tyto přípravky dosahují spolehlivé účinnosti (vyšší než 82%). Výsledky pokusu této práce potvrzují, že účinná látka pinoxaden obsažená v přípravku AXIAL PLUS dosahovala požadovaného účinku při regulaci populací chundelky metlice rezistentní vůči inhibitorům ALS, i přes to, že se u 6. populace vyskytla snížená účinnost (nižší než 82%). Dále se shodují s vysokou účinností látky chlortoluronu obsažené v přípravku LENTIPUR u většiny populací i přes to, že byla u populací 5 a 6 snížená účinnost (nižší než 82%) s tím, že u 6. populace byla prokazatelně nalezena rezistence (účinnost nižší než 72%). Vzhledem k tomu, že přípravky COUGAR FORTE a SUMIMAX měly 100% účinnost a přípravky AXIAL PLUS a LENTIPUR dosahovaly spolehlivé účinnosti, je možné vyvodit, že používání širšího spektra herbicidů by bylo efektivní při potlačování testovaných populací, ale ne nezbytně při prevenci vzniku rezistence. A proto se doporučuje i nadále monitorovat populace na lokalitách kde se vyskytne snížená efektivita přípravků, a to obzvláště u populace 6, kde je vysoké riziko vzniku vícenásobné rezistence. Z hlediska strategií v systému regulace rezistentních plevelných populací je nejdůležitější prevence. Melander a kol. (2008) uvádějí, že zpracování půdy má velký dopad na populační dynamiku chundelky metlice. Systémy bez zpracování půdy pochopitelně zvyšují klíčivost obilek, ale zároveň zvyšují jejich úmrtnost jelikož jsou na povrchu vystaveny predátorům a elementům prostředí, což způsobuje, že stavy chundelky metlice jsou závislé na sezóně a rok od roku se významně mění. Bylo prokázáno, že zastoupení jedinců s ALS rezistencí se zvyšuje v případě využívání minimalizačních technologií. Oproti tomu systémy využívající pravidelnou orbu zvyšují počet dormantních semen v půdě, které mají sníženou úmrtnost, výhodou však je, že narozdíl od bezorebného systému stavy chundelky metlice rok od roku méně kolísají a dá se lépe naplánovat postup při regulaci tohoto ekonomicky významného plevele. Dále zmiňují, že ačkoliv má střídání plodin menší vliv na populační dynamiku chundelky než zpracování půdy, tak osevní postupy s vysokým počtem ozimých plodin ve sledu posobě má tendenci výrazně zvýšit podíl chundelky metlice v plevelném spektru a není neobvyklé, že se chundelka metlice v takovém případě stává dominantním plevelem. Naopak vyvážené osevní postupy využívající jarní plodiny mají tendenci výrazně

omezit stavy chundelky metlice a to i přesto, že se chundelka metlice vyskytuje v jarních plodinách stále častěji. To je nutné vzít v potaz při vytváření strategie pro boj s tímto plevelem, jelikož spektrum herbicidů se rok od roku mění a zmenšuje. Kromě využívání všech dostupných prostředků nechemické ochrany je nezbytné dodržovat střídání herbicidů s různými mechanismy účinku a používání kombinovaných přípravků.

Vhledem k cíli této práce je třeba zdůraznit, že je pro farmáře nutné na těchto stanovištích nadále monitorovat populace chundelky metlice, aby bylo možné navrhnout postupy regulace, které nebudou pouze efektivní v regulaci zmíněných populací, ale také zmenší riziko vzniku nových a rozvoje a šíření stávajících rezistentních populací. Dále se vzhledem k vysokému rozšíření rezistentních populací v oblasti jižních Čech doporučuje dále provádět testy na všech populacích v lokalitách, na kterých mají herbicidní přípravky sníženou účinnost. Vzhledem k problematické regulaci plevelů s křížovou rezistencí by v dalších pokusech měly být rovněž otestovány další účinné látky ze skupiny ALS inhibitorů k ověření či vyvrácení přítomnosti tohoto typu rezistence chundelky metlice z těchto lokalit.

Komunikace a zajištění informovanosti farmářů by mělo být vždy jedním z hlavních cílů prací jako je tato. Prevence vzniku a šíření rezistentních populací je efektivnější než samotný boj s populacemi, u kterých se již rezistence vyvinula, a proto by se mělo cílit právě na detekci populací, u kterých je vysoké riziko, nebo již byla nalezena rozvíjející se rezistence a implementovat strategii, která zabrání vzniku a dalšímu rozvoji rezistence.

Vzhledem k výsledkům této práce by k regulaci detekovaných rezistentních populací k ALS inhibitorům mělo být využíváno především přípravků COUGAR FORTE, SUMIMAX a AXIAL PLUS. Přípravek LENTIPUR měl sice u čtyř z šesti testovaných populací spolehlivý účinek, ale vzhledem k tomu, že u zbylých dvou populací měl sníženou účinnost a u jedné byla nalezena rezistence, by se jeho účinnost měla nadále monitorovat v lokalitách, kde jeho účinnost klesne. Cílem je především to, aby se předešlo vzniku vícenásobných rezistencí, které by následně zúžily počet využitelných herbicidů a tím pádem ještě více zkomplikovaly boj proti chundelce metlici.

8 Závěr

Chundelka metlice se v posledních letech dostala mezi nejběžnější a z ekonomického hlediska nejnebezpečnější plevele na našich polích. K tomu jí napomáhá především její vysoká tendence vytvářet rezistentní populace a její přirozený výskyt v ozimých plodinách, které mají v našich osevních postupech stále vyšší zastoupení.

V této bakalářské práci byly v teoretické části shrnuty základní pojmy, mechanismy a historie vzniku a vývoje herbicidní rezistence spolu se současným stavem herbicidní rezistence ve světě, v České republice a u konkrétně pak u chundelky metlice.

V praktické části byl metodicky zvládnut postup monitorování přítomnosti rezistentních populací chundelky metlice pomocí nádobového pokusu vůči herbicidům CORELLO, AXIAL PLUS, LENTIPUR, COUGAR FORTE a SUMIMAX na lokalitách se sníženou účinností inhibitorů ALS. Monitoring rezistentních jedinců byl proveden na polích v okrese Třeboň. Všech šest testovaných populací chundelky metlice pocházelo z lokalit, na kterých byly v minulosti opakovaně aplikovány herbicidy na bázi sulfonylmočovín. U všech těchto šesti populací byla potvrzena rezistence vůči přípravku CORELLO s účinnou látkou pyroxsulam, která patří mezi inhibitory ALS. U dvou testovaných populací se začínají objevovat první jedinci, kteří přeživali aplikaci přípravku LENTIPUR ze skupiny inhibitorů fotosystému II. Byla zjištěna spolehlivá účinnost přípravků AXIAL PLUS, COUGAR FORTE a SUMIMAX, které byly následně doporučeny jako součást strategie pro boj s testovanými populacemi.

9 Seznam použitých zdrojů

Adegas FS , Gazziero DLP , Voll E a Osipe R , 2010. Diagnóstico da existência de *Digitaria insularis* resistente ao herbicida glyphosate no sul do Brasil. Kongres Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. Sociedade Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Ribeirão Preto, Brazilie, s. 162–165

Andreasen C, Høgh KL, Jensen SM. 2020. The Effect of Foliar and Soil Application of Flufenacet and Prosulfocarb on Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) Control. *Agriculture*. 10(11):552. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110552>

Babineau M, Mathiassen SK, Kristensen M, Kudsk P. 2017. Fitness of ALS-Inhibitors Herbicide Resistant Population of Loose Silky Bentgrass (*Apera spica-venti*). *Front Plant Sci*. Sep 25;8:1660. doi: 10.3389/fpls.2017.01660. PMID: 28993787; PMCID: PMC5622297.

Bartley MR & Frankland B. 1982. Analysis of the dual role of phytochrome in the photoinhibition of seed-germination. *Nature* 300, 750– 752.

Beckie H.J., Tardif F.J., 2012. Herbicide cross resistance in weeds., *Crop Protect.*; 35: 15-28, 10.1016/j.cropro.2011.12.018

Buhler DD and Owen MD, 1997. Emergence and survival of horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Sci* 45:98–101

Davis VM and Johnson WG, 2008. Glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) emergence, survival, and fecundity in no-till soybean. *Weed Sci* 56:231–236

Delye C., Menchari Y., Michel S., Cadet E., Le Corre V. 2013. A new insight into arable weed adaptive evolution: mutations endowing herbicide resistance also affect germination dynamics and seedling emergence. *Ann. Bot.* 111 681–691. 10.1093/aob/mct018

Derpsch R, 2008. No-tillage and conservation agriculture: a progress report, in No-Till Farming Systems, ed. by Goddard T, Zoebisch MA, Gan YT, Ellis W, Watson A and Sombatpanit S. World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok, pp. 7–39

Dietrich C a Devuyst P , Stručný přehled, červenec 2016. Zemědělství v Evropské unii a Spojených státech. Dostupné: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/586615/EPRS_ATA\(2016\)586615_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/586615/EPRS_ATA(2016)586615_EN.pdf) [Online cit. 31. července 2017].

Duke SO, 2012. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?. Pest Manage Sci 68:505–512

Evans JA, Tranel PJ, Hager AG, Schutte B, Wu C, Chatham LA et al., 2016. Managing the evolution of herbicide resistance. Pest Manag Sci 72:74–80

Fernandez-Moreno PT, Rojano-Delgado AM, Menendez J and De Prado R. 2017. First case of multiple resistance to glyphosate and PPO-inhibiting herbicides in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Spain. Weed Sci 65:690–698

Food and Agriculture Organization, Country pasture profiles. Available: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/Counprof/regions/latamerica.htm> [Online cit. 2 November 2017].

Franco P, Condori N and Flores H, 2015. Resistencia múltiple a glifosato y herbicidas inhibidores de ACCasa en *Digitaria insularis* (L.) Mez ex Ekman y resistencia a glifosato de *Amaranthus quitensis* H.B.K. en Santa Cruz, Bolivia. XXII Congreso de la Asociación Latino-americana de las Malezas. Asociación Latino-americana de Malezas, Buenos Aires, Argentina, p. 264

Frene R, Baez Buchanan M, Ravotti M and Serafini L, 2017. Weed control programs for *Conyza sumatrensis* glyphosate-resistant biotypes in glufosinate-, glyphosate- and 2,4-D-tolerant soybeans in Argentina. Proceedings of the Global Herbicide Resistance Challenge, Denver, Colorado

Friesen LF, Beckie HJ, Warwick SI and Van Acker RC, 2009. The biology of Canadian weeds. 138. *Kochia scoparia* (L.) Schrad. *Can J Plant Sci* 89:141–167

Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A. G., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30), 10307–10330. <https://doi.org/10.1074/jbc.rev120.013572>

Gaines TA, Duke SO, Morran S, Rigon CAG, Tranel PJ, Küpper A, Dayan FE. 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *J Biol Chem*. 2020 Jul 24;295(30):10307-10330. doi: 10.1074/jbc.REV120.013572.PMID: 32430396; PMCID: PMC7383398.

Gronwald J.W., 1994. Resistance to photosystem II inhibiting herbicides., in: Powles S.B. Holtum J.A.M. *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*. CRC Press, Inc., Boca, Raton, FL: 27-60

Hamouzová K., Košnarová P., Salava J., Soukup J., Hamouz P. 2013. Mechanisms of resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in populations of *Apera spica-venti* from the Czech Republic. *Pest Manag. Sci.* 70 541–548. 10.1002/ps.3563

Hamouzová K, Soukup J and Paterova L, 2015. A farmer survey on herbicide resistance in loose silky bent grass in the Czech Republic, in *Weed management in changing environments: 17th European Weed Research Society Symposium*, 23–26 June, Montpellier, France.

Hamouzová K, Košnarová P, Soukup J. 2021. Herbicidní rezistence: vývoj, prevence a management. Syngenta Czech s.r.o. [cit. 12.04.2023]. Dostupné z: <https://www.syngenta.cz/news/aktuality/herbicidni-rezistence-vyvoj-prevence-management>

Heap, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [cit. 2023-1-2] Dostupné z: www.weedscience.org.

Hirschberg J., McIntosh L., 1983. Molecular basis of herbicide resistance in *Amaranthus hybridus*., *Science*. 222 (17773338): 1346-1349, 10.1126/science.222.4630.1346

Hull, R., Tatnell, L. V., Cook, S. K., Beffa, R., & Moss, S. R. 2014. Current status of herbicide-resistant weeds in the UK. *Aspects of Applied Biology*, 127, 261-272.

Christoffoleti PJ, Trentin R, Tocchetto S, Marochi A, Galli AJB, Lopez-Ovejero RF et al., 2005. Alternative herbicides to manage Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) resistant to glyphosate at different phenological stages. *J Environ Sci Health B* 40:59–67

Jursík M. a kol., 2007. *Listy cukrovarnické a řepařské* 9-10/2007, 276-279 s.

Jursík M, Hamouzová K, Soukup J a Holec J. 2011. Rezistence plevelů vůči herbicidům a problémy s rezistentními populacemi v ČR. *Listy cukrovarnické a řepařské: odborný časopis pro obor cukrovka-cukr*. Praha: VUC Praha, a. s. ve spolupráci s ČMCS a SPC, roč. 127, č. 4, s. 123-128. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2011/PDF/123-129.pdf

Green JM. and MDK Owen, 2011. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59 (11), 5819-5829 DOI: 10.1021/jf101286h

Kaundun S.S., 2014. Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides., *Pest Manag. Sci.* ; 70 (24700409): 1405-1417, 10.1002/ps.3790

Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin*. Praha : Profi Press, 399 s. ISBN 978-80-86726-34-2.

Kneifelová M a Mikulka J. 2003. *Významné a nově se šířící plevely*. Vyd. 1. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 59 s. ISBN 80-727-1142-3.

Kohout V., Hradecká D. 2008. *Úroda* 10/2008, 18-19 s.

Košnarová P, Hamouzová K, Hamouz P, Soukup J. 2018. Současný stav herbicidní rezistence u travovitých plevelů v ČR. *Úroda*, roč. 66, č. 4, s. 73-78. ISSN: 0139-6013

Košnarová P, Soukup J, Hamouzová K, Mikulka J, Šuk J. 2020. Aktuální situace a vývoj herbicidní rezistence ve světě a v ČR. *Úroda*, roč. 68, č. 4, s. 80-84. ISSN: 0139-6013

Košnarová P, Hamouz P, Hamouzová K, Linn A, Sen MK, Mikulka J, Šuk J, Soukup J. 2021. *Apera spica-venti* in the Czech Republic develops resistance to three herbicide modes of action. *Weed Research* 61(5): 420-429

Košnarová P, Hamouzová K, Jursík M, Soukup J 2022. Regulace travovitých plevelů s odolností a rezistencí k herbicidům. *Úroda*, roč. 70, č. 4, s. 83-86. ISSN: 0139-6013

Kruidhof HM, Bastiaans L & Kropff MJ. 2008. Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research* 48, 492– 502.

Labonne V, Capou J. 1998. La flumioxazine, nouvelle matière active pour le désherbage de la vigne. *Phytoma* 501:52–54

Liu D, editor, 2016. Status of rice herbicide resistant weeds in China. Rice Weed Resistance Conference, 8 June 2016, Wuhan, China

Liu, M., Hulting, A., & Mallory-Smith, C. 2016. Characterization of Multiple Herbicide-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) Populations from Winter Wheat Fields in Oregon. *Weed Science*, 64(2), 331-338. doi:10.1614/WS-D-15-00147.1

Llewellyn RS, Ronning D, Ouzman J, Walker S, Mayfield A and Clark M, 2017. Impact of weeds on Australian grain production: the cost of weeds to Australian grain growers and the adoption of weed management and tillage practices. Report for GRDC: CSIRO, Australia. Available:<https://grdc.com.au/resources-and-publications/all-publications/publications/2016/03/impactofweeds> [Online cit. 14 June 2017].

Llewellyn RS, D'Emden FH and Kuehne G, 2012. Extensive use of no-tillage in grain growing regions of Australia. *Field Crop Res* 132:204–212

McCourt J.A., Pang S.S., King-Scott J., Guddat L.W., Duggleby R.G., 2006. Herbicide-binding sites revealed in the structure of plant acetohydroxyacid synthase..*Proc., Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103: 569-573, 10.1073/pnas.0508701103

Melander B., Holst N., Jensen P.K., Hansen E.M. and Olesen J.E. 2008. *Apera spica-venti* population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop rotation, location and herbicide programmes. *Weed Research*, 48: 48-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00597.x>

Menchari Y., Chauvel B., Darmency H., Délye C. 2007. Fitness Costs Associated with Three Mutant Acetylcoenzyme a Carboxylase Alleles Endowing Herbicide Resistance in Black-Grass *Alopecurus myosuroides*. *J. Appl. Ecol.* 45 939–947. [10.1111/j.1365-2664.2008.01462.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01462.x)

Mikulka J., Chodová D. 1996. Hubení plevelů odolných vůči herbicidům. Institut výchovy a vzdělání ministerstva zemědělství ČR, Praha 23 s.

Mikulka J a Kneifelová M. 2005. Plevelné rostliny. Vyd. 2. Praha: Profi Press, 148 s. ISBN 80-86726-02-9

Mikulka J a Slavíková L. 2008. Metody diagnostiky a regulace rezistentních populací plevelů vůči herbicidům: uplatněná metodika. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 39 s. ISBN 978-80-87011-50-8.

Mikulka J. 2014 Plevelé polních plodin. Vyd. 1. Praha: Profi Press, 179 s. ISBN 978-80-86726-60-1.

Mizutani M and Ohta D, 2010. Diversification of P450 genes during land plant evolution. *Ann Rev Plant Biol* 61: 291–315

Morichetti S, Cantero JJ, Nuñez C, Barboza G, Ariza Espinar L, Amuchastegui A et al., 2013. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) em Argentina. *Bol Soc Arg De Bot* 48:347–354

Moss, S.R. 2002. Herbicide-Resistant Weeds. In *Weed Management Handbook*, R.E.L. Naylor (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470751039.ch11>

Moss S. R. 2017. Black-grass (*Alopecurus myosuroides*) Why has this Weed become such a Problem in Western Europe and what are the Solutions. Outlooks on Pest Management Vol. 28: 207-212.

Niemann, P. 2000. Resistance of silky bentgrass (*Apera spica-venti*) against Isoproturon. *Mitteilungen Biologischer Bundesanstalt für Landwirtschaft und Forstwirtschaft*, **376**, 147– 148.

Nováková K., Soukup J., Wagner J., Hamouz P., Náměstek J. 2006. Chlorsulfuron resistance in silky bent-grass (*Apera spica-venti* Beauv.) in the Czech Republic. *Journal of Plant Diseases and Protection*, Special Issue XX, 139-146.

Nováková K., Soukup J a Náměstek J. 2007 .Problémů s rezistencí plevelů přibývá i v ČR. Úroda časopis pro rostlinnou výrobu vyd. Min. Zemědělství a Výživy. č. 10, s. 54-55.

Peterson M.A., Collavo A., Ovejero R., Shivrain V. and Walsh M.J. 2018. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest. Manag. Sci*, 74: 2246-2259. <https://doi.org/10.1002/ps.4821>

Plewa D and Bissonnette S, 2017. University of Illinois plant clinic herbicide resistance report. Available: <http://bulletin.ipm.illinois.edu/?p=3821> [Online cit. 1 November 2017].

Powles SB, Yu Q, 2010. Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61, 317–347

Prokop M. 2009. Vznik a rozšíření rezistence plevelů vůči herbicidům. *Rostlinolékař*. č. 2, s. 15-16.

Prokop M. 2009. Obrana plevelů proti ošetření herbicidy. *Rostlinolékař*., č. 4, s. 35-37.

Shaner D. L.; O'Connor, S. L., 1991. Eds. *The Imidazolinone Herbicides*; CRC Press: Boca Raton, FL, ; 290 pp.e

Schonbeck M, 2014. Weed profile: pigweeds (Amaranthus spp.): eXtension.org ,
Dostupné: <http://articles.extension.org/pages/65208/weed-profile:-pigweeds-amaranthus-spp> [Online cit. 10. července 2017].

Soukup J. a kol 2005. Rostlinolékař 4/2005, 25-27 s

Soukup J., Nováková K., Hamouz P., Náměstek J. 2006. Ecology of silky bent grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.), importance and control in the Czech Republic. *Journal of Plant Diseases and Protection*, Special Issue XX, 73-80.

Stetter, J. 1994. *Herbicides Inhibiting Branched Chain Amino Acid Biosynthesis: Recent Developments*; Springer-Verlag: New York; 219 pp.[Crossref]

Štrobach, J a Mmikulka J. 2020. *Biologie a regulace jednoděložných plevelů: Biology and control of monocotyledonous weeds*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby,. ISBN 978-80-7427-341-4.

US Department of Agriculture. 2017. *World agricultural production.. USDA Foreign Agricultural Service Circular Series WAP 07-17*.
Available: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. [Online cit. 1 September 2017].

Vargas L, Roman ES, Rizzardi MA and Silva VC, 2004. Identificação de biótipos de Azevém (*Lolium multiflorum*) resistentes ao herbicida glyphosate em pomares de maçã. *Planta Daninha* 22:617–622

Vargas L, Adegas F, Gazziero DLP, Karam D, Agostinetto D and Silva WT, 2016. Weed resistance in Brazil: historical, distribution, economic impact, management and prevention, in *A era glyphosate: agricultura, meio-ambiente e homem*, ed. by Meschede DK and Gazziero DLP. *Midiograf, Londrina, Brazil*, pp. 219–239

Vila-Aiub MM, Vidal RA, Balbi MC, Gundel PE, Trucco F and Ghersa CM, 2008. Glyphosate-resistant weeds of South American cropping systems: an overview. *Pest Manag Sci* 64:366–371

Vila-Aiub MM, Neve P., Powles SB. 2009. Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytol.* 184 751–767. 10.1111/j.1469-8137.2009.03055.x

Weston LA. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agronomy Journal* 88, 860– 866.

Yang X, Yu X-Y and Li Y-F, 2013. De novo assembly and characterization of the barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) transcriptome using next-generation pyrosequencing. *PLoS One* 8:e69168.

Internetové zdroje

[online cit. 13.04.2023] <https://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/>

[onlinecit. 13.04.2023] <https://www.agromanual.cz/cz/index.php?page=>

[online cit. 14.04.2023] <http://www.agchemaccess.com/>

[online cit. 12.04.2023] https://www.bayer.com/sites/default/files/bayer-iwm-brochure_0.pdf